

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»

**ПРОЧНОСТЬ, ПОЛЗУЧЕСТЬ
И РАЗРУШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ
И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

**Труды
Международной молодежной научной
конференции, посвящённой 55-летию РУДН**

Москва, 18–21 ноября 2014 г.

Москва
Российский университет дружбы народов
2014

УДК 624.04:621:691(063)
ББК -022*3,2)+22,251+38.3+38.5+34.43
П84

Утверждено
РИС Ученого совета
Российского университета
дружбы народов

*Издание подготовлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
грант № 14-38-10194 мол_г.*

Под общей редакцией
кандидата технических наук, доцента *М.И. Рынковской*

П84 **Прочность, ползучесть и разрушение строительных
и машиностроительных материалов и конструкций :**
труды Международной молодежной научной конференции,
посвящённой 55-летию РУДН. Москва, 18–21 ноября
2014 г. – Москва : РУДН, 2014. – 346 с. : ил.

ISBN 978-5-209-06240-0

Приводится содержание основных докладов Международной молодежной конференции «Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций», проходившей с 18 по 21 ноября 2014 г. в Москве. Конференция была организована Российским университетом дружбы народов при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

В рамках Международной молодежной конференции работали три секции. Материалы для публикации отобраны Оргкомитетом конференции в соответствии с рекомендациями независимых рецензентов и расположены по секциям. Труды публикуются с сохранением стиля и орфографии авторов.

Труды Международной молодежной конференции могут представлять интерес для научных работников, аспирантов, инженеров, занимающихся аналогичными задачами, и будут полезны для преподавателей и студентов высших учебных заведений математического и технического профиля.

Издание подготовлено Оргкомитетом Международной молодежной конференции.

УДК 624.04:621:691(063)
ББК -022*3,2)+22,251+38.3+38.5+34.43

ISBN 978-5-209-06240-0

© Коллектив авторов, 2014
© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2014

**Российский университет дружбы народов
Peoples' Friendship University of Russia**

**Международная молодежная научная
конференция
«Прочность, ползучесть и разрушение
строительных и машиностроительных
материалов и конструкций»**

Секция 1

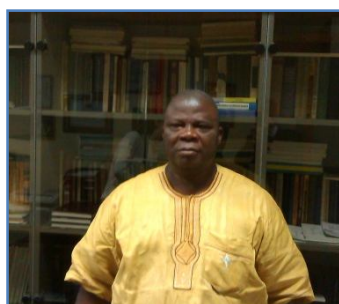
*Мастер-классы
известных специалистов в области
прочности, ползучести и разрушения
материалов*

*Master-classes of well-known specialists in the field of
strength, creeping, and failure of materials*

18 ноября 2014 год

PROBLEMATIQUE DU LOTISSEMENT AU BENIN: IMPACT DU COEFFICIENT DE REDUCTION

Léopold DEGBEGNON,
*Docteur-Ingénieur en Géodésie, Département de Génie Civil de l'Ecole
Polytechnique d'Abomey Calavi, Université d'Abomey Calavi (Bénin),
leopolddegbegnon@yahoo.fr*



La problématique du lotissement est essentielle en matière de développement durable au BENIN. Depuis l'ère coloniale à nos jours l'aménagement du territoire augure d'un présage et d'un avenir mitigé au vu des péripéties survenues du fait de l'existence de deux régimes fonciers et de l'application du coefficient de réduction qui résulte de l'intervention à posteriori des aménagements fonciers. L'aménagement par restructuration qui en est la conséquence reste un mode opératoire adapté pour régler l'urbanisation des quartiers ainsi créés par l'installation anarchique des populations. C'est ce qui justifie l'étude comparative effectuée depuis la période coloniale à nos jours et dont les résultats doivent améliorer notamment la largeur des emprises du projet d'urbanisme et redéfinir les apports initiaux des parcelles à lotir. L'instauration d'une telle réforme dans le nouveau code d'urbanisme en cours d'élaboration réduirait les nombreux problèmes qui minent le foncier et contribuerait à redorer le blason du secteur du lotissement au BENIN.

MOTS CLES: lotissement, coefficient de réduction, foncier, restructuration, urbanisme.

La croissance économique et démographique de nos sociétés africaines et particulièrement du Bénin a engendré un besoin accru d'urbanisation. Dans toutes les cultures, le rapport de l'homme à la terre revêt une importance capitale. Toutefois, le développement de l'économie de marché a donné à la terre une valeur marchande qui s'est d'abord imposée dans les sociétés européennes, puis progressivement dans les pays africains, d'abord par le biais de la traite négrière puis de la colonisation. Ainsi, l'attribution de la terre, son utilisation, sa cession et son acquisition à titre onéreux ou sa taxation sont devenues un enjeu capital dont l'une des sources est la réalisation des opérations de lotissement. Ces travaux qui donnent non seulement naissance au tissu urbain, contribuent également à l'amélioration du cadre juridique de la gestion foncière qui a très peu évolué depuis l'accession du Bénin à la souveraineté

internationale. Mieux les opérations de lotissement apportent une valeur ajoutée incommensurable aux parcelles de terrain. Les quelques lois et autres textes réglementaires hérités du colon font l'objet d'une mauvaise application et d'un défaut de mise à jour ou d'adaptation aux nouvelles conditions, devenant avec le temps et la mondialisation désuets. Dans ces conditions, les travaux d'aménagement foncier urbain ou rural restent liés à une relation de cause à effet à tel point que les dispositions légales hérités du pouvoir colonial ont, non seulement connu un défaut d'application mais aussi et surtout une absence criarde de réformes pouvant s'adapter au dualisme qui régit le foncier au BENIN (le régime foncier coutumier qui régit la plupart des terres béninoises et le régime moderne qui concerne très peu d'immeubles dont les propriétaires sont détenteurs de Titres Fonciers).

Au regard des événements ayant ponctué les opérations d'aménagement au BENIN, la clarification de l'origine du lotissement et l'étude des différentes contingences qui l'ont jalonné dans le temps permettront de définir des bases plus saines qui concourront à la mise en place du tissu urbain, gage d'une source participative au développement durable. Pour cela il faudra étudier ses corrélations avec les dispositions coloniales et enfin les palliatifs appropriés aux insuffisances nées de la cohabitation de deux régimes fonciers dont la mauvaise gestion est souvent à l'origine de problèmes d'insécurité foncière.

1- Le lotissement et ses corollaires.

Dans les pays sous-développés en général et en Afrique en particulier, « la maîtrise et la gestion efficiente du Foncier » constituent un grand enjeu pour le développement local. Depuis de longues années, ce problème est l'objet de diverses études, recherches, projets de loi, d'analyse et d'inventaires, en zone rurale comme en zone urbaine. Au cœur de ces préoccupations foncières au Bénin, le lotissement occupe une place de choix.

Spécifiquement, à l'origine et dans la tradition africaine et coloniale, la fondation d'une ville prend la forme d'un lotissement public. A cet effet, l'administration dessine sur le sol [1] le périmètre de la nouvelle ville à créer, s'approprie ledit sol, affirme sa propriété par l'obtention d'un titre foncier, puis le divise en emprises publiques et en parcelles privées. Dans cette même pratique, l'adjonction d'un quartier nouveau, au-delà des limites initiales de la ville et du Titre Foncier primitif, est réalisé sous la forme d'un lotissement pour le distinguer du lotissement initial, fondateur de la ville. Malgré la consonance quelque peu désuète de cette appellation et, somme toute, quelque peu dangereuse dans la mesure où cette dénomination met l'accent sur la procédure foncière de découpage du sol au détriment du travail d'organisation de l'espace et d'équipement, on continue de parler de « lotissement » contrairement à l'Europe où les autorités qui président à la fondation et au développement des villes nouvelles préfèrent parler d'« aménagement ». Au sens spécifique le lotissement est une opération d'urbanisme qui consiste à diviser un terrain, une propriété foncière en plusieurs parcelles destinées à la construction de bâtiments

à usage d'habitation, de bureau, ou encore à usage commercial, artisanal ou industriel. Il vise à créer un tissu parcellaire ; un morceau de ville. Le lotissement est donc une opération de division foncière soumise à autorisation de lotir et entreprise par toute personne physique ou morale de droit privé ou public, qu'elle soit une professionnelle de l'aménagement ou non. Sa principale fonction sociale et urbanistique est de produire des parcelles de terrain à bâtir. Tel que défini, le lotissement ne concerne donc pas le cadre bâti existant mais consiste au contraire à préparer une nouvelle urbanisation, même limitée, en divisant une grande propriété foncière en petites parcelles destinées à la construction.

Toutefois, compte tenu du fait de la reconnaissance dans les pays africains et particulièrement au BENIN de deux régimes fonciers, les populations usant du droit foncier coutumier s'installent « spontanément » dans les périphéries des villes en marge de toute opération d'aménagement. Ce qui est contraire au dogme de l'aménagement foncier selon lequel, l'aménagement du sol doit précéder son occupation. Dans ce cadre, seules certaines formes d'aménagement fonciers permettent de légaliser les quartiers spontanés ainsi créés, à défaut de ne pouvoir les raser tous. Ces formes d'aménagement peuvent consister en un rééquipement, un remembrement, une rénovation, une réhabilitation ou une restructuration, etc. Ainsi que ce soit pour un lotissement privé ou public, la nécessité du respect du règlement en vigueur s'impose.

Les événements qui ont ainsi caractérisé la conduite des opérations d'aménagement urbain dans notre pays trouvent leur genèse dans son organisation dont les origines nous renvoient à la période coloniale.

2- Aperçu historique du lotissement au BENIN.

Le lotissement au Dahomey, aujourd'hui Bénin a été introduit par le colonisateur pour des intérêts d'aménagement du cadre de vie et surtout d'urbanisation. Toutefois il y a eu un "lotissement colonial" et un "lotissement postcolonial".

a) Dispositions coloniales.

Les rapports de l'homme à la terre ne sont pas restés immuables. Ils ont subi une évolution sous l'effet de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut retenir la colonisation avec ses corollaires tels que la monétarisation des échanges.

En effet, des textes et lois ont été pris pour réglementer l'occupation et l'utilisation des terres. Au cours de cette période, le colonisateur, a conçu des lotissements dans les centres où travaillait un grand nombre de ses agents pour leur logement. C'est ainsi qu'après la mise en service en 1899 du Wharf¹ de COTONOU, les premières opérations de lotissement ont débuté par la zone de Hlacadji au quartier Topka-Hoho en 1902. A cette époque, les terrains lotis, sans intervention d'un coefficient de réduction, appartiennent d'office à la

¹ Le Wharf qui est aujourd'hui devenu le Port Autonome de Cotonou.

colonie. Ce droit de propriété du colonisateur était consolidé par l'immatriculation systématique des périmètres à lotir. La procédure suivie reposait sur des textes législatifs et réglementaires avec la tenue à jour des cartes foncières des villes, la constitution de la propriété foncière et du cadastre parcellaire, l'archivage correct des dossiers techniques et un meilleur contrôle de l'occupation de l'espace urbain. Elle consistait en :

- la délimitation du périmètre à lotir,
- la réalisation des opérations de relevé d'état des lieux,
- l'étude et l'approbation du plan de lotissement suivi parfois de l'expropriation de terrains pour cause d'utilité publique,
- l'immatriculation au nom de l'Etat du périmètre,
- l'application du plan de lotissement qui comportait : des parcelles communément appelées « carré » à cause de leur forme, des rues souvent identifiées sous le vocable « VONS » (Voies Orientées Nord-Sud) et des réserves pour les équipements publics, jardins et autres places publics.
- les attributions de certaines parcelles et l'adjudication des autres ; en lieu et place d'un recasement, les parcelles étaient attribuées en priorité aux présumés propriétaires relevés au moment de la réalisation de l'état des lieux. Toutefois, l'autorité coloniale se réservait le droit de mettre certaines parcelles en vente par voie d'adjudication aux plus offrants.

Dans cette optique, le colonisateur a fait prendre un certain nombre d'actes administratifs afin de mieux organiser ces opérations dans une Afrique qui découvrait la notion de ville et d'aménagement urbain.

Certes, ces différents textes et lois instituées ont non seulement pour objet d'établir une procédure permettant la réalisation de ces opérations d'urbanisme dans de meilleures conditions de rapidité et de garantie pour les intéressés mais aussi pour résoudre les problèmes posés par l'aménagement dans une région où les réalisations du colon ne sont pas souvent favorablement accueillies par les populations locales. Néanmoins, ils ont eu des effets remarquables sur la gestion des terres dans la mesure où ils ont provoqué une évolution des idées en matière foncière.

Dans ces conditions sont réalisés les premiers lotissements au BENIN notamment à Cotonou concernant : Tokpa-Hoho au quartier Hlacadji en 1902, Missité en 1931, la zone de Gbédiga et Saint Jean en 1941, Sodjèatinmey-Ouest et Centre, la zone industrielle d'Akpakpa couvrant les quartiers Enagnon et Finagnon en 1950, la zone des habitations économiques d'Akpakpa et des alentours en 1952, Jéricho en 1953, Gbégamey, Sikèkodji et Dantokpa en 1955, la zone de l'Ambassade de France en 1955, Cadjèhoun I et II en 1957. La conduite de ces opérations d'aménagement a été rendue possible grâce à des géomètres missionnaires pour la plupart accompagnés par les indigènes dahoméens.

b) Pratique du lotissement après les indépendances :

Au lendemain de l'accession de DAHOMEY à la souveraineté nationale, les géomètres Dahoméens de l'heure, ont pris la relève des colons pour la poursuite de l'œuvre entamée. Ainsi, 80 à 90% des terres loties au BENIN l'ont été au lendemain des indépendances. Les lois et décrets hérités de la période coloniale n'ont pas pour autant connu des modifications. Cependant, dans la pratique on distingue trois grandes époques après les indépendances [3] du fait d'une part du changement de la procédure avec la suppression de l'immatriculation du périmètre à lotir et la création de nouvelles structures chargées de la gestion des lotissements puis d'autre part de l'ouverture du secteur aux Cabinets privés de Géomètres et d'Architectes.

b.1- La période de l'indépendance jusqu'en 1970.

Elle a été caractérisée par l'élaboration de lotissements pour garantir les intérêts du colonisateur. C'est dans ce cadre qu'un certain nombre d'infrastructures administratives ont été mises en place. Ces premiers lotissements se déroulaient suivant une rigueur conforme aux textes législatifs et réglementaires en vigueur. Alors, une décennie après l'accession du DAHOMEY à la souveraineté nationale, les pratiques en matière d'aménagement héritées de la colonisation sont toujours en vogue. Et ce, en attendant de prendre des actes administratifs permettant de réaliser des plans de lotissements qui sauvegardent les intérêts des citoyens, les nouvelles autorités d'alors ont poursuivi les travaux selon le contexte colonial à quelques petites différences près. Les limites des parcelles relevant du droit coutumier ont commencé par être de plus en plus pris en compte. Ce n'est qu'en 1969 que les décrets 69-154/PR/MTPTPT et n°69-155/PR/MTPTPT du 19 Juin 1969, portant respectivement création des commissions départementales d'urbanisme et fixant les conditions d'approbation des projets d'aménagement urbain ont été pris pour régler un temps soit peu cette prise en compte du droit coutumier [2]. C'est dans ces conditions que sont réalisées les opérations d'aménagement des Résidences "les Cocotiers", de la Haie Vive et la Patte d'Oie dans les environs de 1960, de Sodjèatinmey-Est en 1961, celles de la zone de la Présidence de la République, du Palais des Congrès et du C.N.H.U de Cotonou en 1962, le quartier JAK en 1963, la zone des Habitations économiques d'Attakè à Porto-Novo etc.

b.2- La période de 1970 à 1990.

Dès 1970 en l'absence de loi d'urbanisme susceptible de renforcer tous les documents administratifs d'aménagement urbain, les autorités politiques ont essayé de mettre en place des structures appropriées afin de concevoir des documents jugés nécessaires par elles pour réaliser un lotissement qui sauvegarde les intérêts des citoyens. Il convient de souligner que pendant cette période des violations flagrantes de la loi n°60-20 du 13 juillet 1960 ont commencé à être observées avec la délivrance en 1970 de permis d'habiter sur

des périmètres non immatriculés au nom de l'Etat, dénuant ainsi l'acte de tout fondement juridique. De 1970 à 1978, à défaut d'un financement des opérations de lotissements par l'Etat, les travaux d'aménagement urbain ont été réalisés en régie² par la Direction de la Topographie et du Cadastre, en étroite collaboration avec le Service de l'Urbanisme et de l'Habitat de la Direction des Travaux Publics. La procédure suivie pendant cette période se résume à :

- Choix du domaine à lotir,
- Réalisation des travaux d'état des lieux,
- Etude du plan de lotissement,
- Approbation du plan de lotissement,
- Application,
- Recasement.

Au début des années 80, la volonté des autorités du régime du PRPB³ d'accélérer les lotissements voire d'aménager les terres avant leur peuplement les a conduits à la création en 1978 des structures chargées de la gestion des lotissements. Il s'agit de :

- l'Institut National de Cartographie (INC) devenu Institut Géographique National (IGN),
- la Société Nationale de Gestion Immobilière (SONAGIM) devenue SOCOGIM (Société de Construction et de Gestion Immobilière) aujourd'hui liquidée,
- les Sociétés Provinciales de Gestion Immobilières (SOPROGIM) également liquidées.

L'INC s'occupait des travaux d'états des lieux tandis que la SONAGIM et les SOPROGIM se chargeaient de concevoir les plans de lotissement et de les appliquer sur le terrain. Le rendement attendu en aménagement urbain de ces Sociétés et la course effrénée de certains membres du personnel aux intérêts inavoués ont très tôt conduit ces derniers à la faillite pour avoir passé outre les dispositions du décret 69-155 PR/MTPTPT du 19 juin 1969 fixant les conditions d'approbation des projets d'aménagement urbain. Parfois les procédures engagées par ces structures n'épuisent pas toutes les phases avant l'application du plan de lotissement sur le terrain et le recasement des parcelles. Mieux, le financement des opérations en ce moment était à la charge des populations. La procédure légale des lotissements pendant cette période était la même que celle observée entre 1970 et 1978. La seule différence réside au niveau des nombreuses entorses à la règle qui ont été volontairement commises.

² Selon le projet de Code des Marchés Publics, Ordonnance n° 96-04 du 31 janvier 1996, les travaux en régie désignent des travaux dont le financement se fait sur la base du temps passé par les employés de l'entrepreneur et l'utilisation de matériel en plus de paiements pour les matériaux et équipement nécessaires à ces travaux.

³ Parti de la Révolution Populaire du Bénin.

b.3- La période après 1990

Après la Conférence Nationale des Forces Vives de Février 1990, il a été recommandé de faciliter l'installation des populations dans les zones loties en accélérant les lotissements et de liquider la SOCOGIM qui de 1978 à 1992, a mené les opérations de lotissement dans une situation de monopole en ignorant les règles et les procédures requises. Depuis lors, d'autres structures tant étatiques que privées du secteur des lotissements telles que la SERHAU-SEM, les cabinets des Architectes-Urbanistes et ceux de Géomètres sont intervenues pour proposer et trouver de nouvelles solutions. Ainsi, quelques améliorations ont été apportées à la procédure, prenant en compte les enquêtes publiques et l'implication des populations. Désormais, la procédure consiste en :

- l'établissement de plan de base à partir de photographie aérienne,
- l'établissement du plan d'état de lieux et du répertoire des propriétaires et présumés propriétaires de parcelles,
- les premières enquêtes commodo et incommodo sur le plan d'état des lieux,
- l'élaboration d'un plan d'aménagement de détail (réseau de voirie, principe d'assainissement, programme d'équipement, plans d'îlots, coefficient de réduction, plans parcellaires et projet de recasement) traduit en projet de répertoire de recasement des propriétaires et présumés propriétaires de parcelles,
- les deuxièmes enquêtes commodo et incommodo relatives au plan de voirie et équipements sur fond du plan d'état des lieux,
- l'approbation des commissions locale et départementale d'urbanisme,
- l'application et recasement sur le terrain : ouverture des voies principales, attribution des parcelles.

Toutefois malgré les difficultés rencontrées ça et là dans les lotissements, il a fallu attendre le 22 Octobre 1996 pour voir institué l'arrêté n°0023 MEHU/DC/DU définissant les prescriptions minimales à observer en matière de lotissement en République du BENIN.

En effet, ces prescriptions concourent aux principes de l'aménagement par restructuration qui se révèlent être la forme la plus utilisée en matière de lotissement au BENIN. De façon spécifique, la restructuration consiste à rectifier avec un minimum de destruction, les tracés de certaines voies, à implanter éventuellement les réseaux manquants, à récupérer et réserver certains terrains pour des équipements collectifs, à valider officiellement des titres d'occupation illicites. Une telle opération nécessite la contribution en terrain, de chaque propriétaire ou présumé propriétaires au profit des infrastructures collectives et domaines publics. Cette contribution est traduite par le coefficient de réduction dont l'application dans une opération de lotissement suscite des remous aussi bien au sein des acteurs que de la population concernée.

3- Problématique du coefficient de réduction dans les opérations d'aménagement urbain au BENIN.

La pratique du coefficient de réduction résulte de l'intervention à posteriori des aménagements fonciers dans des zones préalablement occupées (restructurations). Ces zones sont caractérisées par un sous-équipement chronique, quand ce n'est pas tout simplement une absence totale d'infrastructures et équipements de voisinage. Pour y remédier, un pourcentage (coefficient de réduction) est appliqué à toutes les parcelles non immatriculées dont les apports initiaux en sont frappés équitablement. Il représente donc le pourcentage de contribution en terrain de chaque présumé propriétaire au profit des ouvrages et domaines publics. Il est déterminé selon la formule suivante :

$$C_R = \frac{S_V + S_E - (S_{VE} + S_{EE})}{S_T - (S_{VE} + S_{EE})} \times 100 \text{ avec,}$$

- $S_V = S_T - S_L$
- S_T = Surface totale traitée;
- S_L = Surface des lots
- S_V = Surface de la voirie projetée
- S_E = Surface des terres réservées aux équipements
- S_{EE} = Surface des équipements existants non revendiquée
- S_{VE} = Surface de la voirie existante non revendiquée
- C_R = Coefficient de réduction en pourcentage.

Lorsque la surface de la voirie existante non revendiquée (S_{VE}) et la surface des équipements existants non revendiquée (S_{EE}) sont toutes nulles (le cas le plus fréquent), le coefficient de réduction devient élevé et se résume à la formule :

$$C_R = \frac{S_V + S_E}{S_T} \times 100.$$

Cependant, le coefficient de réduction est souvent un facteur de blocage dans les opérations d'aménagement urbain. En effet les populations sont toujours réticentes face à un coefficient élevé qui selon elles, entrainerait une diminution drastique de la superficie de leur parcelle au recasement. Pire, elles proposent souvent dans le but de réduire ce coefficient et par ricochet d'agrandir leur parcelle recasée, non seulement de diminuer les emprises des voies projetées quitte à implanter des ruelles au lieu de véritables rues, mais aussi de supprimer certaines réserves foncières pour les équipements socioculturels, oubliant ainsi que le lotissement d'aujourd'hui trace la ville de demain. C'est justement dans ce cadre les rues ou voies projetées doivent être suffisamment large afin de disposer de bonnes emprises pour les prochaines générations alors que les

réserves foncières permettront de construire des équipements ou d'abriter de grands projets dans le futur. Développement durable oblige.

Le constat est que les niveaux élevés de division parcellaire entraînent pendant le lotissement, l'implantation de parcelles de superficie variable d'une part mais aussi et surtout de parcelles de petites superficies qui sont souvent effilées, ressemblant parfois à des passages ; et ce à cause de l'uniformité des largeurs (l) des îlots ($50m \leq l \leq 60m$). Ceci est d'autant plus déplorable que les parcelles implantées dans les lotissements pendant la période coloniale et au lendemain des indépendances étaient de superficies variantes entre $800m^2$ et $450m^2$ (fig. 1) alors que les emprises minimales des voies étaient de 15mètres avec un grand nombre de voies de 20mètres. Pour revenir à une telle urbanisation offrant un meilleur cadre de vie aux populations, il faut alors définir à partir d'un coefficient de réduction moyen, la superficie minimale d'apport acceptable à l'état des lieux pour que la superficie à implanter après prélèvement du coefficient de réduction soit au moins égale à $500m^2$ (Tableau 2). Et ce en appliquant un coefficient de réduction moyen de 0,38 (Tableau 1) issu de la moyenne des valeurs appliquées actuellement dans les Communes de Sèmè- Podji, Cotonou et d'Abomey Calavi qui ne sont pas des moindres en République du Bénin. Ce coefficient moyen de 37% a été maximisé à 38% pour prendre en compte une emprise des voies de 12 mètres par comparaison à la moyenne de 10mètres implantée dans les lotissements depuis 1990.

Commune	Lotissement	Coefficient de réduction	Emprise des voies tertiaires (m)
Sèmè-Podji	Lotissement d'AGBLANGANDAN	37,5	10
Cotonou	Lotissement de LADJI	39	10
Cotonou	Lotissement d'AGLA	45	10
Cotonou	Lotissement de FIDJROSSE KPOTA	35	10
Abomey Calavi	Lotissement de TOGBIN	35	10
Abomey Calavi	Lotissement de Calavi 2e tranche	33	10
Abomey Calavi	Lotissement de Godomey tranche C	38	10
Abomey Calavi	Lotissement d'AKASSATO 2e tranche	37	10
Abomey Calavi	Lotissement de KANSOUNKPA 1ere tranche	35	10
COEFFICIENT DE REDUCTION MOYEN		37,17	

Tableau 1: Coefficients de réduction appliqués dans les principaux lotissements exécutés à Cotonou et dans sa banlieue depuis moins de 20 ans.

Le tableau suivant présente les moyennes des superficies de parcelles et emprises de voies implantées dans les premiers lotissements réalisés au BENIN entre les années 1900 et 1950.

Année du lotissement	Quartier/Localité	Superficie moyenne des parcelles (m ²)	Emprise des voies tertiaires (m)
1902	Tokpa-Hoho	560	20
1931	Missité	508	20
1941	Gbèdiga	735	20
1950	Sodjèatimè	509	20
1950	Finangnon	533	15
1952	OHE	512	20
1953	Jéricho	686	20
1955	Gbégamey	491	20
1955	Sikèkodji	491	15
1955	Dantokpa	663	20
	Total	5688	190
	Moyenne	569	19

Tableau 2: Superficie de parcelle et emprise de voies des lotissements exécutés à Cotonou avant les indépendances.

Il résulte de cette étude que la superficie moyenne d'une parcelle recasée doit être d'au moins 500m². Ce qui permet d'évaluer la superficie initiale d'apport à 840m² en considérant un coefficient de réduction moyen de 38% comme le montre le tableau 3 suivant :

Emprise des voies (Em)	12m ≤ Em ≤ 15m
Superficie de la parcelle recasée (S _R)	500 m ²
Coefficient de réduction moyen (C _R)	0,38
Superficie d'apport nécessaire [S _A = S _R / (1 - C _R)]	806 m ²
Marge d'incertitude 10% = (S _A x 37% x 10%)	31 m ²
Superficie de l'unité parcellaire à l'Etat des Lieux (S _{EL})	837 m ²

Tableau 3: Détermination de la superficie de l'unité parcellaire à l'état des lieux.

Ainsi on obtient (fig.2) la répartition des superficies comme suit sur un diagramme circulaire.

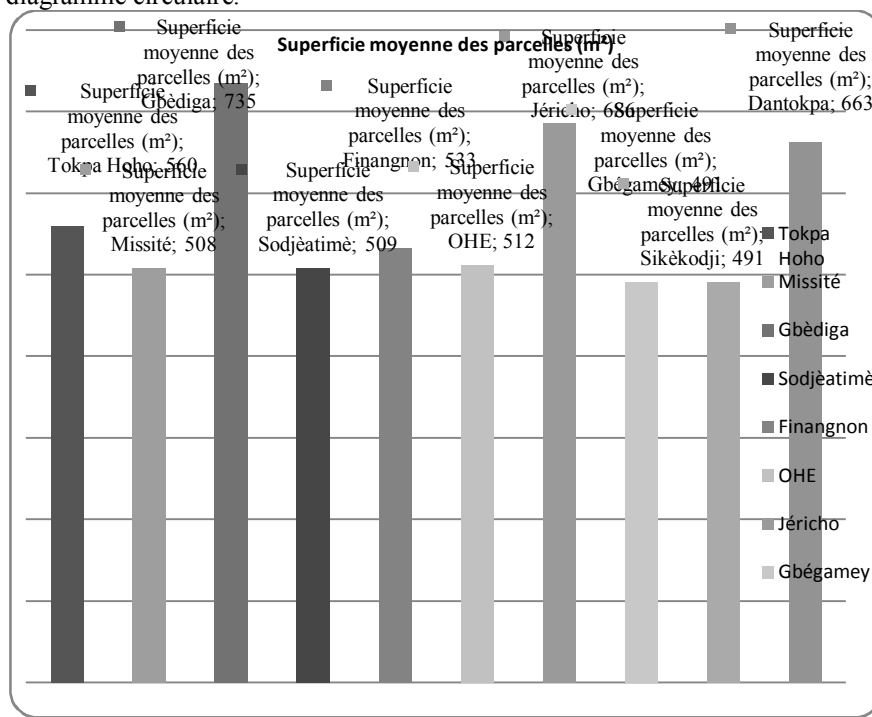


Fig 1: Superficies moyennes des parcelles implantées dans les lotissements de Cotonou avant les indépendances.

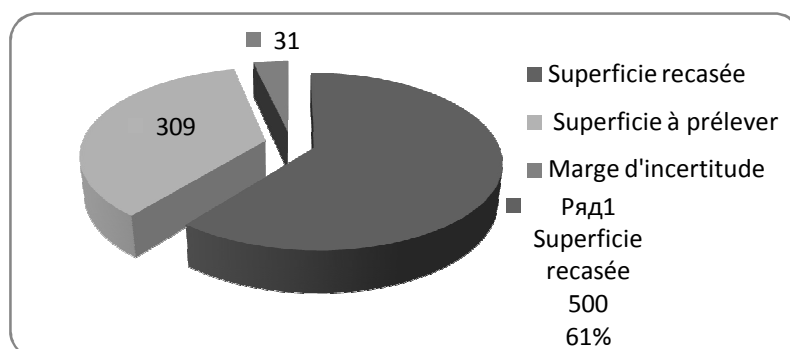


Figure 2: Répartition des superficies de l'unité parcellaire à l'état des lieux.

Par conséquent, sur une superficie d'apport d'environ 840 m², il sera implanté à l'issue du lotissement une parcelle de 500m² permettant d'avoir 20mètres en façade sur 25mètres en profondeur. Il faudra donc au niveau du code de l'urbanisme en cours d'élaboration, imposer pour qu'une parcelle soit reconnue comme telle prévoir un apport minimal de 840m² à l'état des lieux.

Dans le cas contraire, le non respect de cette disposition sera toujours cause de problème dans les lotissements car les populations prennent de plus en plus l'habitude de construire sur presque toute leur superficie initiale qui varie souvent entre 450 et 500m². Parfois, les constructions sont érigées après l'étude du projet de lotissement par l'architecte-urbaniste. Ce qui implique une remise en cause des prévisions de ce dernier donc des résultats issus de son étude, source problématique de conflit dans les lotissements. La vulgarisation d'une telle réglementation permettra aux présumés propriétaires de prévoir dans les zones non encore aménagées, des morcellements de parcelles de superficie supérieure ou égale à 840m². Toutefois cette mesure doit être accompagnée de plus de rigueur dans la conduite des opérations de lotissement notamment dans le strict respect de la réglementation en vigueur.

CONCLUSION

Soucieux de l'intérêt général et du maintien de la cohésion nationale, l'Etat béninois doit s'armer d'une volonté politique forte pour une refonte hardie et transparente de l'arsenal juridique de l'urbanisme après celle du foncier, par le biais de la loi n°2013-01 du 14 août 2013 portant Code Foncier et Domanial. Ainsi il faudra un cadre législatif unique pour réglementer les opérations de lotissement afin d'éviter leur exécution au bon gré de chaque acteur. Cela contribuera sûrement au développement socio-économique de la Nation. A cet effet, la tâche à abattre est ardue et exaltante car il faudra changer les habitudes qui se sont installées il y a plus d'un demi-siècle. Un système foncier a besoin d'être constamment adapté aux contingences économiques et sociales de l'heure. Aussi faudrait-il dans ce cas régler l'inégal traitement que subissent les immeubles relevant du droit foncier moderne et ceux du droit foncier coutumier dans les opérations d'aménagement urbain. La suppression de cette injustice devra contribuer également au règlement de plusieurs autres problèmes qui minent les opérations de lotissement. La clarification des différentes interrogations permettra de mesurer le poids du Titre Foncier dans l'exécution de ces opérations.

Références

[1] Tribillon J. F., *Nouveau Manuel d'Aménagement foncier*, Villes Africaines p. 107.

[2] SerhaU-Sem, *Recueil des textes principaux en matière de droit domanial, de droit de l'Urbanisme et de droit foncier*, Cotonou : SERHAU-SEM, 2001.-495 p.

[3] Lassissi A. S., 2006. - *Comprendre le foncier béninois*, édit. CNPMS, 486p.



НОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СТЕРЖНЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОЧНОСТЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.П. АГАПОВ, д.т.н., профессор

Московский государственный строительный университет
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

Предложен новый подход к моделированию стержней при расчете конструкций на прочность методом конечных элементов. В отличие от существующих моделей, основанных на гипотезе плоских сечений, предложено использовать трехмерную теорию без геометрических ограничений, накладываемых упомянутой гипотезой. При этом модель стержня формируется с использованием суперэлементной технологии, что позволяет избежать существенного увеличения числа степеней свободы элемента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стержни, расчеты на прочность, метод конечных элементов, суперэлементы.



Начиная со второй половины XX века развитие науки о прочности конструкций и сооружений неразрывно связано с вычислительной техникой. Если до появления вычислительных машин усилия специалистов были направлены на разработку приближенных методов расчета, не связанных с трудоемкими и громоздкими вычислениями, то после их появления предпочтение стали отдавать более точным методам. Стержневые конструкции были одним из первых типов сооружений, для расчета которых были разработаны компьютерные программы, такие как NASTRAN[1], ASKA[2], SAP-4[3], МКЭ ПРОЧНОСТЬ[4], МИРАЖ [5] и др. Эти программы предназначались для линейного расчета конструкций, и в основу алгоритма расчета в них был положен метод перемещений, как наиболее просто программируемый. Основные этапы метода перемещений заключаются в вычислении матриц жесткости отдельных элементов, суммировании этих матриц для вычисления матрицы жесткости конструкции, решении систем линейных алгебраических уравнений и вычислении усилий и напряжений в элементах конструкции. Матрицы жесткости элементов вычислялись с использованием классической теории растяжения-сжатия, кручения и изгиба стержней, основанной на гипотезах плоских сечений и неизменности размеров поперечных сечений. Стержни предполагались призматическими (как, например, на рис.1), а их материал считался однородным, изотропным и линейно упругим.

Упомянутые выше программы не имели никаких ограничений по количеству узлов и элементов рассчитываемых конструкций. Такие ограничения определялись возможностями вычислительных машин, главным образом, объемом их памяти. Эти возможности постоянно росли и продолжают расти до сих пор.

Таким образом, проектировщики получили инструмент, позволяющий рассчитывать стержневые конструкции точными (в рамках принятых в науке о сопротивлении материалов гипотез) методами, что резко повысило качество проектируемых сооружений, позволило сделать их более надежными и менее материалоемкими.

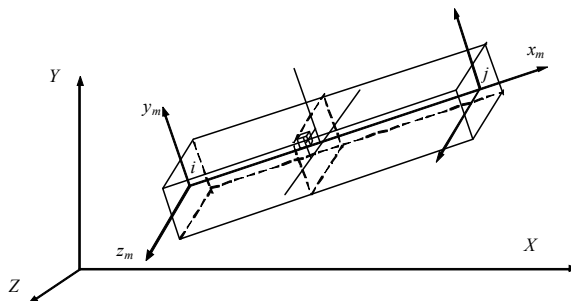


Рис. 1

Следует отметить, что появление в середине XX века универсального машинно-ориентированного метода расчета конструкций, известного как метод конечных элементов (МКЭ), позволило достаточно быстро решить проблему линейного расчета и континуальных систем - пластинок, оболочек, массивных тел и комбинированных конструкций, причем МКЭ чаще всего применялся в форме метода перемещений.

Поскольку большая часть конструкций проектируется таким образом, чтобы материал в них деформировался в упругой стадии, а перемещения были бы малы, то можно сказать, что с появлением электронных вычислительных машин задача расчета таких конструкций была решена. Однако расчеты конструкций в линейной стадии деформирования не дают возможности определить истинный коэффициент запаса прочности, который необходимо знать при опасности возникновения запроектных нагрузок. Это особенно важно для конструкций, эксплуатируемых в зонах возможных стихийных бедствий - землетрясений, ураганных ветров и т.п. До появления ЭВМ задача определения предельных нагрузок решалась упрощенными методами, в частности, методом предельного равновесия, который позволяет найти предельную нагрузку, если известна форма разрушения конструкции. Однако для большинства конструкций эта форма априори неизвестна, поэтому в начале семидесятых годов специалисты разных

стран начали разрабатывать методы расчета конструкций, позволяющие определять параметры их напряженно-деформированного состояния на всем пути деформирования вплоть до разрушения. Метод конечных элементов оказался и в этом отношении наиболее подходящим. Что касается расчета стержневых систем с учетом нелинейности деформирования, то принятые ранее модели стержней, основанные на классической теории сопротивления материалов, оказались непригодными, так как они не позволяли учитывать неоднородность материала стержня вследствие возникающих в нем пластических деформаций и искривление оси вследствие больших перемещений. Поэтому рядом специалистов (см., например, [6,7]) были предложены новые модели стержней с использованием трехмерной теории. В этих моделях координаты и перемещения точек, принадлежащих объему стержня, определялись в зависимости от узловых величин, но в качестве узлов принимались точки, лежащие на оси стержня (жирные точки на рис.2).

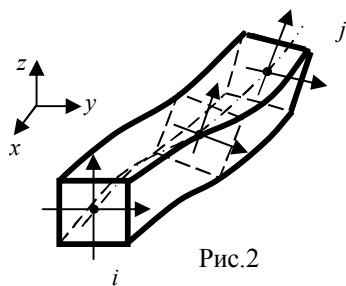


Рис.2

Для этих точек вводились аппроксимирующие функции, с помощью которых находились координаты и перемещения точек, лежащих на оси стержня, а затем с помощью гипотезы плоских сечений определялись расчетные величины для всех остальных точек. Такой подход позволяет выразить компоненты перемещений, деформаций и напряжений в любой точке стержня через узловые перемещения. Матричные характеристики стержня при этом находились по формулам, выведенным в теории метода конечных элементов (см., например, [6,7,8]).

Рассмотренные выше модели стержня позволили создать эффективные алгоритмы, но они не лишены недостатков. Основные из них заключаются в следующем:

- 1) некорректная (в точке) передача усилий со стержней на плиты, оболочки и массивные элементы конструкций;
- 2) проблематичность учета деформации сечений для стержней некруглого сечения;
- 3) трудность учета деформаций поперечного сдвига при косом изгибе;

4) сложность учета физической и геометрической нелинейности.

Автором предложен новый подход к моделированию стержней при расчете строительных конструкций методом конечных элементов. При этом каждый стержень представляется совокупностью объемных конечных элементов с произвольной разбивкой по сечению и высоте, как, например, показано на рис. 3. Промежуточные узлы сетки конечных элементов стержня исключаются на стадии формирования его матричных ха-

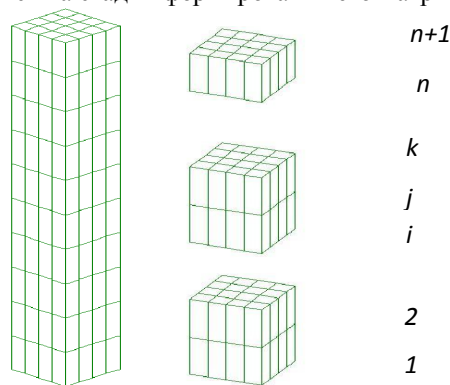


Рис. 3

рактеристик. Автором предложен алгоритм послойного редуцирования, связанный с наименьшим объемом вычислений. При использовании этого алгоритма в каждый момент времени при формировании матрицы жесткости и вектора нагрузок элемента рассматриваются два соседних слоя. Для них составляются уравнения равновесия и с использованием суперэлементной процедуры из этих уравнений исключаются узлы, лежащие на границе между слоями. В результате повторения этой процедуры для всех слоев характеристики стержня приводятся к узлам, лежащим в его конечных сечениях. Благодаря этому при незначительном увеличении числа степеней свободы конструкции удается избавиться от недостатков, присущих традиционному способу моделирования стержней одномерными элементами. Предложенный подход реализован в вычислительном комплексе ПРИНС для колонн прямоугольного сечения. Подробности реализации приведены в работах [9-14].

Литература

1. NASTRAN theoretical manual. – NASA, Washington, 1972.
2. Скрим Э., Рой Дж.Р. Автоматизированная система для кинематического анализа // Расчет упругих конструкций с применением ЭВМ. - Л.: Судостроение, 1974. - Т.2. - С.33-36. Пер. с англ.

3. Noor K.A. Survey of computer programs for solution of nonlinear structural and solid mechanics problems // Comput.Structures.- 1981. - Vol.13, №№ 1-3. P.425-465.
4. Розин Л.А. Стержневые системы как системы конечных элементов. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, Л, 1976. - 237 с.
5. Городецкий А.С. Приложение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам строительной механики. Автореферат диссерт. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. - Киев: 1978. - 34 с.
6. K.J.Bathe. Finite Element Procedures. – Prentice Hall, Inc., 1996. – 1037p.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Sixth edition. - McGraw-Hill, 2005. - 631p.
8. Агапов В.П., Васильев А.В. Использование объемных моделей колонн прямоугольного сечения в расчетах строительных конструкций методом конечных элементов//Вестник МГСУ, № 9,2012 г.- С.
9. Агапов В.П., Васильев А.В. Моделирование колонн прямоугольного сечения объемными элементами с использованием суперэлементной технологии // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, № 4, 2012.
10. Агапов В.П., Васильев А.В. Усовершенствованный восьмиузловой элемент сплошной среды // Вестник МГСУ, № 3, 2013.
11. Агапов В.П., Васильев А.В. Суперэлемент колонны прямоугольного сечения с физической нелинейностью // Вестник МГСУ, № 5, 2013.
12. Агапов В.П., Васильев А.В. Суперэлемент колонны прямоугольного сечения с геометрической нелинейностью // Вестник МГСУ, № 6, 2013.
13. Агапов В.П., Васильев А.В. Моделирование железобетонных колонн прямоугольного сечения в вычислительном комплексе ПРИНС // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, №4,2014.
14. Агапов В.П., Васильев А.В. Учет геометрической нелинейности при расчете железобетонных колонн прямоугольного сечения методом конечных элементов // Вестник МГСУ, №4, 2014.

**NEW APPROACH TO THE MODELLING OF THE RODS
IN THE STRENGTH ANALYSIS OF THE STRUCTURES
BY FINITE ELEMENT METHOD**

V. P. AGAPOV

A new approach to the modelling of the rods in the strength analysis of structures using finite element method is suggested. In contrast to existing models based on the hypothesis of plane cross sections, it is proposed to use a three-dimensional theory without geometric constraints imposed by the mentioned hypothesis. In this case the rod model is formed using a superelement technology, allowing to avoid a substantial increase of the number of degrees of freedom of the element.

KEYWORDS: Rods, strength analysis, finite element method, the superelements.



МЕХАНИКА «ЛЕЧЕНИЯ» ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Н.М. ЯКУПОВ, д.т.н., профессор
С.Н. ЯКУПОВ, к.т.н., с.н.с.
ИММ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия
yzsrr@kfti.knc.ru, tamas_86@mail.ru



Современные тонкостенные конструкции и сооружения, обладая уникальными свойствами, находят широкое применение во всех отраслях. Они воспринимают большие нагрузки, работают в агрессивных средах и испытывают воздействие физических полей. Обеспечение их безопасности является актуальной задачей.

Выполненный цикл работ направлен на решение проблемы безопасной работы тонкостенных конструкций, находящихся под нагрузкой и подверженных коррозионному износу и воздействию физических полей. Комплексная разработка включает диагностику (оценку состояния и несущей способности) и «лечение» тонкостенных конструкций и сооружений с поверхностными локальными и распределенными дефектами.

В процессе эксплуатации конструкций и сооружений, возникают коррозионные и механические дефекты, происходит изменения приповерхностных слоев. Изменения механических характеристик приповерхностных слоев, например, вследствие разрыхления материала при коррозии обычно не учитывают. Дефектные области, являясь концентраторами напряжений, могут привести к разрушению конструкций. Возникает необходимость оценки концентрации напряжений в дефектных областях тонкостенных конструкций, рассматривая их в трехмерной постановке с учетом изменения механических характеристик приповерхностных слоев. Работы по исследованию влияния поверхностных дефектов на работоспособность нагруженных тонкостенных элементов в двумерной постановке встречаются редко. Отсутствуют также исследования влияния физических полей на коррозию нагруженных конструкций.

Представляет интерес определение закономерностей коррозии и учета изменения механических характеристик приповерхностных слоев от совместного воздействия механических деформаций и физических полей на процесс коррозии, а также оценка концентрации напряжений в дефектных областях тонкостенных конструкций на базе трехмерных конечных элементов.

Вопросы влияния механических деформаций на изменение магнитных свойств поверхностного слоя металлических образцов также представляет большой интерес. Выдвинута гипотеза «влияния механических деформаций на электрохимический процесс коррозии через изменение магнитных характеристик». Полученные предварительные данные, а также результаты предстоящих исследований, возможно, позволят уточнить влияние механических деформаций на электрохимический процесс коррозии.

Представляет большой интерес разработка способов защиты от коррозии и создание устройств по снижению уровня максимальных напряжений в локальных дефектных областях. Практически нет работ по защите от коррозии, используя физические поля.

Разработаны новые способы и устройства по снижению уровня концентрации напряжений в областях тонкостенных конструкций с локальными дефектами. Некоторые материалы, приведенные в статьи, использованы в Заявке лаборатории нелинейной механики оболочек (лаб. НМО) ИММ КазНЦ РАН на грант по РФФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тонкостенные конструкции, безопасность конструкций, большие нагрузки, среда и физические поля, поверхностные дефекты, коррозионные углубления, разрыхление материала, механические характеристики, модель коррозионного износа, концентрация напряжений, диагностика и «лечение»

Научная проблема. Среди множеств актуальных проблем, стоящих перед механиками, можно отметить проблему предупреждения техногенных катастроф современных тонкостенных конструкций и сооружений, работающих в различных средах под воздействием физических полей при больших нагрузках. Проблема входит в Перечень критических технологий Российской Федерации (п.21), утвержденный Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. №899.

Актуальность проблемы. Современные тонкостенные конструкции, обладая уникальными свойствами, находят широкое применение в строительстве, в машиностроении, в нефтегазовой промышленности, в энергетике и т.д. Как правило, они работают в тяжелых условиях: воспринимают большие нагрузки, находятся в агрессивных средах и испытывают воздействие различных физических полей. При этом в процессе эксплуатации конструкций и сооружений могут происходить изменения механических характеристик приповерхностных слоев, а также возникать различные локальные и распределенные поверхностные дефекты типа коррозионных углублений, поверхностных царапин, трещин, вмятины и т.д.

В настоящее время во всех отраслях наблюдается большой износ различных конструкций и сооружений, в некоторых отраслях износ доходит

до 60-80%. По данным [1] основными причинами аварий в газопроводах за последние пять лет являлись коррозия, стресс - коррозия и брак строительно-монтажных работ. О лавинообразном росте аварий, связанных с коррозионным растрескиванием под напряжением, говорится в работе [2]. Проблемы обеспечения безопасности конструкций и сооружений затронуты в [3,4], а вопросы безопасности трубопроводов в [5,6].

Обеспечение безопасности конструкций и сооружений является важной задачей. Проблема актуальна практически для всех отраслей промышленности, где имеются тонкостенные конструкции и сооружения.

Работы по исследованию нагруженных тонких сложных структур на коррозионный износ в двумерной постановке встречаются редко. При рассмотрении коррозионного износа обычно не учитывают изменения механических характеристик приповерхностных слоев. Однако при коррозионном износе элемент конструкции может значительно изменить свои механические характеристики, особенно это актуально для тонкостенных элементов конструкций. Упрощенно это явление можно назвать разрыхлением материала на некоторую глубину, или на всю глубину для тонкостенных элементов. При этом может произойти, в частности, существенное снижение величины модуля упругости. В результате имеет место тонкостенный элемент с измененными физико-механическими характеристиками по толщине. Поэтому вопросы, связанные с определением механических характеристик жесткости тонкостенных элементов являются актуальными.

Конструкции и сооружения могут находиться под интенсивным воздействием физических полей. В литературе редко встречаются работы по исследованию влияния физических полей на коррозию и практически отсутствуют исследования, посвященные изучению совместного воздействия механических нагрузок и физических полей на конструкции, работающих в агрессивных средах. Исследования влияния физических полей и механических напряжений на процесс коррозионного износа актуальны и разработка эффективных моделей коррозионного износа в зависимости от времени и от воздействующих параметров является важной задачей, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Дефектные области, являясь концентраторами напряжений, при достижении определенных размеров могут привести к катастрофическому разрушению конструкций. В связи с этим возникает необходимость оценки концентрации напряжений на участках с различными дефектами (углублениями, щелями, царапинами, трещинами, вмятинами и др.), рассматривая эти участки конструкций в трехмерной постановке. Работы по исследованию работоспособности тонкостенной конструкции при наличии поверхностных дефектов, а также коррозионного износа нагруженных тонкостенных элементов встречаются редко.

Для оценки безопасности тонкостенных конструкций и сооружений наряду с учетом изменения механических характеристик приповерхностного слоя вследствие коррозионных или иных дефектов необходимо также определять концентрации напряжений в локальных дефектных областях, в том числе в коррозионных «язвах» и в дефектных областях в виде щелей и трещин. То есть необходимо поставить правильный диагноз состояния элементов нагруженных конструкций – это первое направление исследований, связанное с обеспечением безопасности работы конструкций.

Второе, естественно вытекающее направление, – разработка устройств, способов и рекомендаций для снижения уровня максимальных напряжений или снижения воздействия среды или физического поля. Имеются разработки [7-10], посвященные «лечению» дефектных областей путем создания сжимающих усилий в дефектной области. Практически нет работ, в которых для защиты от коррозионного износа использовался бы эффект воздействия физическими полями.

Таким образом, для обеспечения безаварийной работы современных тонкостенных конструкций и сооружений, находящихся в агрессивных средах и испытывающих воздействие различных физических полей, необходимо: 1) грамотно диагностировать состояние элементов конструкций; 2) разработать способы и устройства «лечения» и защиты элементов конструкций.

1. О состоянии элементов конструкций. С рождением металла появились и проблемы, связанные с сохранением его от разрушения. Несмотря на все более широкое применение различных полимеров, керамики, бетона и стекла, железо и его сплавы продолжают оставаться основным конструкционным материалом многих современных конструкций и сооружений. Конструкции и сооружения предназначены для выполнения определенных функций в течение заданного срока. Однако, к сожалению, многие из них, не отработав заданный срок, разрушаются. Одной из существенных причин разрушения конструкций, воспринимающих большие нагрузки и находящихся под воздействием агрессивных сред и различных физических полей, является изменение механических характеристик приповерхностных слоев элементов конструкций и появление различных поверхностных дефектов (углублений, трещин, царапин и др.). Особенно опасно для конструкций наличие двух и более источников разрушения, например, существенные механические напряжения в сочетании с коррозией [11]. При этом имеет место не простое сложение эффекта от источников разрушения, а иногда существенное ухудшение ситуации.

О коррозионном износе нагруженных элементов. В процессе коррозионного износа, согласно электрохимической теории коррозии на поверхности металла, находящегося в агрессивной среде, образуется тонкая защитная пленка (пассивирующий слой), разрушение которой, приводит к

интенсивному коррозионному износу. При коррозии наряду с изменением геометрических параметров происходит изменение и механических характеристик приповерхностных слоев элементов конструкций вследствие «разрыхления» материала, что приводит к изменению свойств материала, в частности, уменьшению величины модуля упругости. Эти факты в расчетах практически не учитываются, хотя их влияние может быть существенным.

При коррозии на изменение геометрических и механических характеристик материала конструкции влияют: уровень напряжений, знак деформации, а также наличие физических полей. В общепринятых расчетах для учета коррозионного износа в зависимости от условий и среды, а также от состава и характеристик материала задают величину коррозионного износа материала за единицу времени и, исходя из этого, делают прикидочные расчеты и выводы о долговечности того или иного элемента конструкции или конструкций в целом. Такой подход годится только для оценочных расчетов влияния коррозии.

О влиянии напряжений на коррозионный износ отмечается в работе Гутмана Э.М. [12]. Локощенко А.М. проанализировал работы, учитывающие влияние на коррозию механических напряжений и повреждающие материалы [13]. Беренштейн Г.В., Дьяченко А.М., Русанов А.И. сделали вывод, что для кристаллической пластинки из KCl , находящейся в потоке раствора, «скорость растворения вогнутой стороны на протяжении всего опыта больше, чем выпуклой» [14].

Вопросы влияния деформации поверхности на коррозию чрезвычайно важны для практики. Одним из факторов, способствующих разрушению

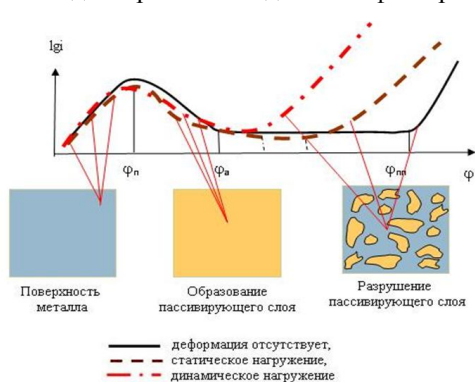


Рис.1. Зависимость скорости анодного растворения от анодного потенциала

защитной пленки (пассивирующего слоя), является механическая деформация. Очевидно, что защитный слой при деформации элемента также подвергается деформации. В работе [15] предложена модель влияния механических деформаций на толщину пассивирующего слоя. На рис.1 приведены характерные кривые этапов коррозионного износа металлических образцов ненагруженных (без де-

формации), а также при статическом и динамическом нагружениях. Из

рис.1 видно, что при наличии нагрузки коррозионный процесс начинается при меньших значениях анодного потенциала.

Определение закономерностей коррозионного износа позволяет проводить осмысленное проектирование конструкций и сооружений, правильно их эксплуатировать, а также разработать способы защиты конструкций от коррозионного износа, в том числе сделать правильный подбор защитных покрытий.

В работе [16] – на базе экспериментально - теоретического метода дан ответ на вопрос, на каких поверхностях интенсивнее идет процесс коррозионного износа – на растянутых или сжатых поверхностях? Установлено, что в коррозионной среде жесткость на растяжение тонкостенных металлических элементов с растянутыми поверхностями уменьшается быстрее, чем для аналогичных элементов со сжатыми поверхностями; т.е. коррозионный износ на растянутых поверхностях идет быстрее, чем на сжатых поверхностях не менее чем в 1,5 раза.

О коррозионном износе при воздействии физических полей. Вопросы влияния физических полей на процесс коррозионного износа относительно мало изучены. Известны работы по исследованию коррозии трубопроводов при намагничивании перекачиваемой среды [17,18]. Исследовано влияние соединений бензола на коррозию стали при воздействии магнитного поля [19]. Вопросы коррозионного износа материала, находящегося в жидкой среде и под воздействием ультрафиолетового излучения (УФ), также мало изучены. Известно исследование коррозионного износа сплава цинка под влиянием УФ [20]. Коррозия цинка, алюминия, серебра, углеродистой стали, при воздействии УФ излучения неоднозначна, наблюдается как ускорение, так и замедление коррозионного износа [21].

В лаб. НМО начаты работы по изучению влияния физических полей (магнитного поля и ультрафиолетового излучения) на процесс коррозионного износа [22-26]. Установлено, что как в воде, так и в кислой среде жесткость на растяжение тонкостенных металлических образцов при воздействии магнитного поля снижается медленнее, чем при износе без магнитного поля; т.е. наличие магнитного поля способствует уменьшению коррозионного износа от 1,2 до 1,35 раза. Выявлено, что жесткость на растяжение тонкостенных стальных образцов при наличии ультрафиолетового излучения в непрерывном режиме воздействия снижается быстрее, чем при износе без излучения от 1,2 до 1,5 раза. Установлено, что в растворе соляной кислоты жесткость на растяжение тонкостенных стальных образцов при наличии ультрафиолетового излучения в прерывистом режиме воздействия снижается медленнее, чем при износе без излучения от 1,2

О влиянии деформаций на распределение поверхностных магнитных свойств. Как отмечалось выше, механические деформации и физические

поля влияют на процесс коррозионного износа. О связи механизма возникновения магнитной анизотропии с напряжением отмечается в [27]. В настоящее время известны работы влияния упругих напряжений на анизотропию магнитных пленок [28]. Выполненные исследования показали, что распределение магнитных свойств (коэрцитивной силы и поля анизотропии) на поверхности тонких пленок, ионно-синтезированных силицидов железа, зависит от уровня напряжений. В связи с этим представляет большой научный и практический интерес исследования по выявлению механизма коррозионного износа деформированных образцов, т.е. механизм влияния механических деформаций на электрохимический процесс коррозии, в частности, влияния механических деформаций на изменение магнитных свойств поверхностного слоя металлических образцов. Такие исследования начаты в лаб. НМО.

О концентрации напряжений в области дефектов. Поверхностные дефекты (технологические, эксплуатационные, конструктивные и др.) являются концентраторами напряжений. Еще Леонардо да Винчи в конце XV века сформулировал понятие концентратора и тем самым заложил основы современной механики разрушения. Для обеспечения безопасной работы конструкций и сооружений необходимо совершенствовать каждый этап его разработки: создание материала, технологии, проекта и т.д. Наличие различных локальных дефектов в элементах конструкций приводит к концентрации напряжений, что является предвестником разрушения конструкций [29-31].

Развитие современных методов расчета и рост возможностей вычислительной техники позволяют уточнять расчетные схемы – переходить от одномерных расчетных схем к двумерным и к трехмерным расчетным схемам. Все это позволяет более точно оценивать напряженно - деформи-

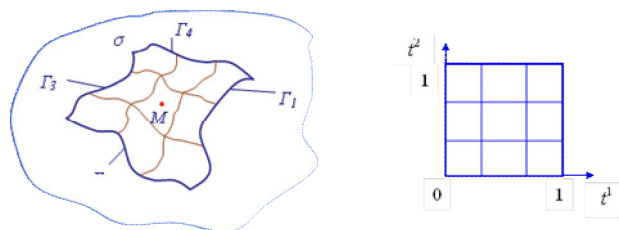


Рис. 2. Параметризация фрагмента срединной поверхности оболочки сложной геометрии параметрами t^1, t^2 единичного квадрата

рованное состояние конструкций и сооружений, в частности, с учетом различных локальных дефектов, переменности модуля упругости по толщине и других факторов и тем самым делать правильный прогноз о состоянии конструкции.

В лаб. НМО разработан эффективный метод расчета тонкостенных оболочечных конструкций, имеющих сложную геометрию (рис.2) – сплайновый вариант метода конечных элементов [32-36].

Используя гипотезу Кирхгоффа-Лява, задача сводится к двумерной задаче. Метод, благодаря синтезу идеи параметризации и метода конечных элементов (МКЭ) с бикубической аппроксимацией искомых переменных в пределах каждого элемента, позволяет получать пространственные искривленные согласованные двумерные конечные элементы. Однако этот метод не позволяет определять напряженно - деформированное состояние (НДС) элементов конструкций в области локальных углублений и дефектов. В связи с этим авторами проекта начата разработка численного метода определения напряженно - деформированного состояния трехмерных объектов сложной геометрии (рис.3) на базе трехмерных элементов [37,38].

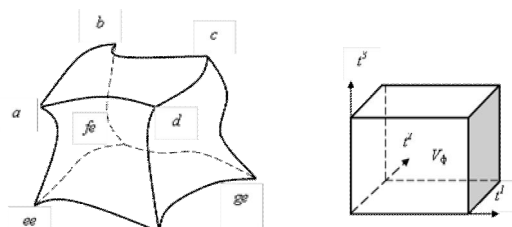


Рис. 3. Параметризация фрагмента трехмерного тела сложной геометрии

Следует отметить, что локальные дефекты имеют сложную геометрию, для их описания в лаб. НМО предложен способ и специальное устройство [39].

Некоторые вопросы колебания оболочек, заданных в сферической системе координат и призм в трехмерной постановке рассмотрены в [40]. В работах [41-43] описано развитие метода в трехмерной постановке для расчета элементов конструкций сложной геометрии, заданных в сферической и цилиндрической системе координат.

О влиянии дефектов на свойства элементов при коррозии. В статье [44] рассмотрены вопросы влияния механических дефектов на свойства нагруженных тонкостенных элементов конструкций в агрессивной среде.

2. Способы и устройства «лечения» элементов конструкций. Появление дефектов еще не означает «гибель» конструкций. Разрушение произойдет тогда, когда уровень (концентрация) напряжений превысит критическую величину. В связи с этим возникает проблема предотвращения разрушения конструкции: как снизить уровень концентрации напряжений в области дефекта? как «продлить» жизнь конструкции, в которой появился дефект?

Во второй половине XX века была разработана технология ремонта конструкций, которая получила название «холодная сварка» [45]. Способ ремонта по технологии «холодная сварка» начал использоваться для устранения различных дефектов, в частности, свищей и трещин на трубопроводах, а также для восстановления герметичности резервуаров. Способ не позволяет восстановить несущую способность дефектной области в полном объеме.

Известны подходы ремонта с использованием стягивающих муфт и лент, а также бандажирования дефектных областей, например в трубопроводах [46-50]. Однако наличие большой жесткости приводит к дополнительной концентрации напряжений на границе среза муфты.

В лаб. НМО начаты работы по разработке эффективных способов снижения локальных концентраций напряжений в дефектных областях, используя, «лечащие» накладки [3,4,7-10,51-55]. Схема использования «лечащих накладок» представлена на рис.4.

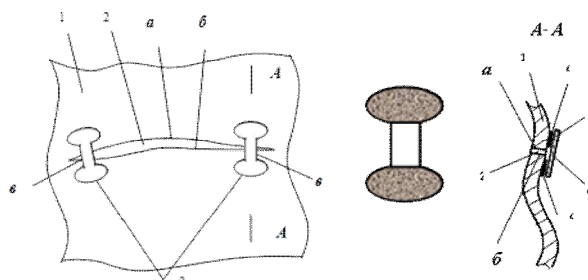


Рис.4. Схема использования «лечащих накладок»: 1 – элемент оболочки, 2 – трещина, 3 – лечащие накладки

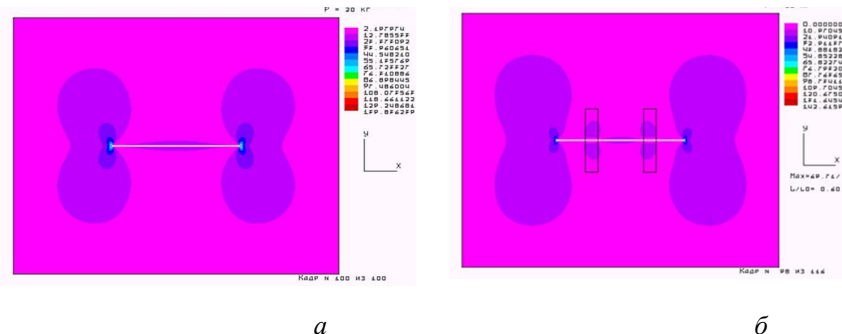


Рис.5. Распределение интенсивностей напряжений:
а) для панели с трещиной; б) для панели с трещиной с накладками

«Лечащие» накладки, в отличие от обычных заплат, создают в области дефектов локальные сжимающие нагрузки и способствуют существенному снижению уровня концентрации напряжений (рис.5).

В лаб. НМО рассмотрены вопросы коррозионного износа тонкостенных элементов, обработанных методом ионной имплантации [56], а также разработаны конструктивные подходы лечения дефектных конструкций, в частности [55-64,68]. Некоторые из этих разработок внедрены, в частности, усилена крупногабаритная градирня СК-1200 ОАО НКХХ (рис.6).



Рис. 6. Усиленная крупногабаритная градирня СК-1200, ОАО НКХХ

Разработано новое устройство для предотвращения коррозионного разрушения [65].

3. Об инструменте исследования. Оценку результатов исследований коррозионного износа проводят различными способами. Среди наиболее распространенных способов оценки коррозионного износа являются: гравиметрический способ, связанный с химическим удалением продуктов

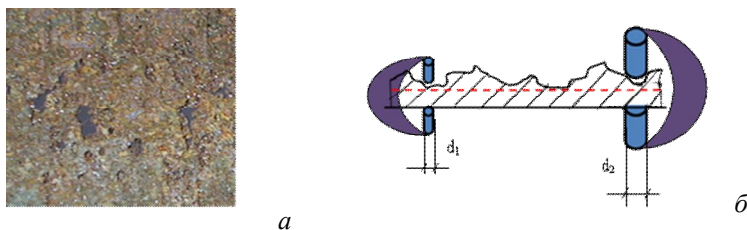


Рис.7. Коррозионные дефекты. *а* – поверхность тонкостенного элемента; *б* – глубина дефекта в зависимости от базы микрометра

коррозии и контролем потери массы металла; ускоренный электрохимический способ, позволяющий на основе поляризационных измерений определить начальную скорость коррозии. Известно, что поверхность материала корродирует неравномерно, в некоторых участках коррозия разрушает металл на большую глубину, чем соседние участки, и образуются своего рода «кратеры» (рис.7).

Наличие этих «кратеров» искажает картину коррозионного износа материала. Гравиметрический и электрохимический способы не позволяют учитывать наличие таких участков на поверхности материала, а также оценить изменение механических характеристик тонкостенных элементов конструкций при коррозии. При исследовании механических характеристик стандартным одноосным испытанием полос, вырезанных из тонкостенных элементов со сложной структурой и различными коррозионными дефектами, наблюдается разброс результатов. Особенно это ощутимо для тонких образцов, поскольку роль дефектов в таких объектах весьма значительна. Также для исследования механических характеристик тонкостенных элементов со сложной структурой не всегда эффективны физические методы, в частности инденторный метод [66,67]. В связи с этим возникает необходимость двумерного подхода определения приведенных (интегральных) характеристик исследуемых тонкостенных элементов конструкций.

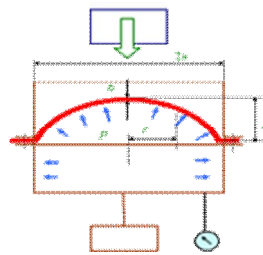


Рис. 8. Модифицированная установка ДМ-1 и схема установки

Для оценки результатов исследования коррозионного износа используется двумерный экспериментально - теоретический метод [68-77]. Разработана экспериментальная установка «ДМ-1» (рис.8).

Экспериментально - теоретический метод позволяет оценить степень износа на основе анализа деформации заземленного по контуру круглого тонкого образца под действием равномерного давления. При этом определяются интегральные характеристики жесткости образца, что является важным для научных исследований, конструкторам и практикам эксплуатационникам той или иной конструкции или сооружения. Точность экспериментально - теоретического метода, зависящая от точности измерений экспериментальных данных и точности используемых теоретических со-

отношений, должна быть согласована с поставленными целями: необходимостью качественной оценки влияния того или иного фактора на изменение тех или иных характеристик исследуемого объекта при одинаковых условиях, либо необходимостью количественной оценки, когда значения точности результатов возрастает [78]. На теоретическом этапе получены расчетные выражения для упругих, нелинейно упругих и пластических мембран в случае больших перемещений и деформаций. При этом для упругих материалов берутся нелинейные геометрические соотношения в виде, предложенным В.И. Феодосьевым, Х.М. Муштари и К.З. Галимовым [79-81], для пластических материалов – в виде, предложенным А.А. Ильюшиным [82]. Все это обеспечивает точность получаемых результатов теоретического этапа.

На экспериментальном этапе встает проблема оценки погрешности измеряемых величин, поскольку не существуют идеально точных приборов и методов измерений. Замеры прогибов производятся с использованием цифровых индикаторов ИЦ-50 с точностью 0.001 мм (ГОСТ 577-68) и цифровым манометром ДМ-5001 с погрешностью $\pm 1\%$ (ТУ 4212-039-00225590-2003). При этом, используя аппарат статистической обработки, производится фильтрация экспериментальных данных, обеспечивая доверительный интервал с надежностью 95%.



Рис. 9. Схема деформирования прямоугольных образцов

Для более точного мониторинга за формой деформирования исследуемых образцов, а также оценки уровня деформаций в дефектных областях тонкостенных конструкций необходима «Мобильная координатно-измерительная машина с лазерным сканером Kreon (компания Kreon Technologies) с программным обеспечением Geomagis».

В лаб. НМО разработаны способы и устройства испытаний образцов под напряжением (рис.9,10) [83,84].

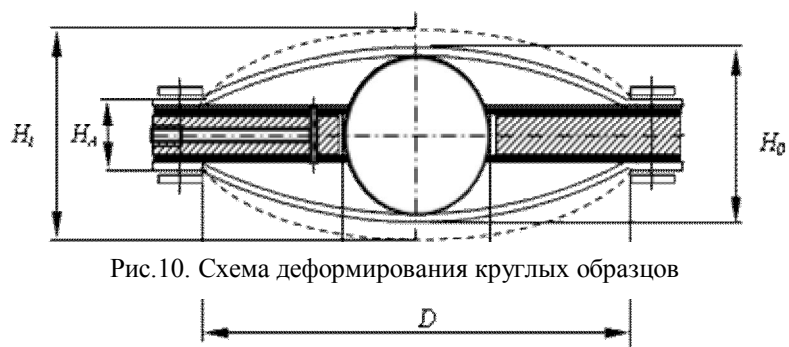


Рис.10. Схема деформирования круглых образцов

4. О некоторых достижениях лаб. НМО по данному циклу работ:

- 1) Разработка «Prevention of destruction of industrial constructions and decrease in pollution of an environment by them» награждена Серебряной медалью и Дипломами на 53 Всемирном Салоне инноваций, научных исследований и новых технологий "Брюссель-Эврика-2004", г. Брюссель (Бельгия);
- 2) Разработка «Prevention of the cooling towers destruction and the ways of increasing their efficiency» награждена Серебряной медалью и Дипломом на 33 Международном Салоне изобретений, новой техники и изделий «Женева-2005», г. Женева (Швейцария);
- 3) Разработка «Definition of mechanical characteristics of membranes and films with defects and their use» награждена Серебряной медалью на 35 Международном Салоне изобретений, новой техники и изделий «Женева-2007», г. Женева (Швейцария);
- 4) Разработка «Крепежные элементы для ремонта трещин и способ их использования» награждена Бронзовой медалью и Дипломом на 37 Международном Салоне изобретений, новой техники и изделий «Женева-2009», г. Женева (Швейцария);
- 5) Разработка «Способ определения прочностных свойств тончайших пленок и нанопленок и устройство для его осуществления» награждена Золотой медалью и Диплом XIV Международного Салона изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД - 2011».
- 6) Разработка «Устройства для усиления зданий и сооружений» награждена Серебряной медалью и Диплом XIV Московского Международного Салона изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД - 2011»;
- 7) Разработка «Способ испытания тонкостенных образцов под напряжением и устройство «Летающая тарелка» для его осуществления» награждена Бронзовой медалью и Диплом XV Московского Международного Салона изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД - 2012».
- 8) Разработка «Коррозионный износ конструкций и устройства для их усиления» награждена Золотой медалью и Диплом I степени на Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech) 2013 г., Санкт-Петербург.

Заключение:

1. Для обеспечения работоспособности современных тонкостенных конструкций и сооружений необходимо: грамотно диагностировать состояние элементов конструкций; разработать способы и устройства «лечения» и защиты элементов конструкций.

2. Разработан сплайновый вариант метода конечных элементов в трехмерной постановке, позволяющий определить уровень концентрации напряжений в тонкостенных элементах в области поверхностных дефектов, в частности в области углублений сложной формы.

3. Разработаны новые способы и устройства «лечения» тонкостенных элементов конструкций, позволяющих снизить уровень концентрации напряжений.

4. Предложены инструменты исследования на двумерной основе тонкостенных образцов с дефектами, а также устройства и способы исследования нагруженных тонкостенных образцов.

5. Отмечены некоторые разработки лаб. НМО, награжденные медалями на Международных Салонах и Выставках.

Литература

1. *Алимов С.В.* Техническое обслуживание и капитальный ремонт газопроводов – основа обеспечения надежности газотранспортной системы ОАО «Газпром» // Обслуживание и ремонт газонефтепроводов 2010: Материалы V Международной конференции: М.: ООО «Газпром Экспо», 2011. С.3-13.

2. *Мостовой А.В., Хасанов Р.Н. и др.* Оптимизация капитального ремонта магистральных газопроводов // Обслуживание и ремонт газонефтепроводов 2010: Материалы V Международной конференции: М.: ООО «Газпром Экспо», 2011. С.87-93.

3. *Якупов Н.М.* Механика: проблема – идея – практика. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 161 с.

4. *Якупов Н.М.* Механика: проблема – идея – практика // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. №3. С.24-37.

5. *Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р.* Проблемы безопасности трубопроводов // Газовая промышленность. 2012. № 9. С.14-18.

6. *Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р.* Проблемы безопасности трубопроводов // Газовая промышленность. Приложение, 2013. С.11-15.

7. *Якупов Н.М., Якупов С.Н. и др.* Способ ремонта трещин в тонкостенных оболочечных конструкциях. Патент на изобретение №2310797. Оpubл. 20.11.2007.

8. *Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г. и др.* Крепежный элемент «ЯМСИ». Патент на изобретение №2380585. Оpubл. 2010.01.27. Бюл.№3.

9. *Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н.* Способ задержки развития дефектов в конструкциях и устройство «КЫСКИЧ» для его осуществления. Патент на изобретение №2500512. Оpubл. 10.12.2013. Бюлл. №34.

10. *Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р.* Способ задержки развития дефектов в конструкциях и устройство «ТОКМАЧ» для его осуществления. Заявка на изобретение №2012137742 от 6.09.2012.

11. Низамов Х.Н., Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Прогнозирование и предупреждение коррозионного разрушения конструкций. М.: Изд. РУДН, 2006. 355 с.
12. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. М.: Металлургия, 1981. 271с.
13. Локощенко А.М. Методы моделирования влияния окружающей среды на ползучесть и длительную прочность металлов // Успехи механики. 2002. №4. С.90-120.
14. Береништейн Г.В., Дьяченко А.М., Русанов А.И. Механохимический эффект растворения // Докл. АН СССР. 1988. 298, №6. С.1402-1404.
15. Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Коррозия – союзник аварий и катастроф. Монография. М.: Изд-во РУДН, 2002. 93с.
16. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние характера деформирования поверхности элементов конструкции на коррозионный износ // Проблемы прочности, 2012. №2. С.76-84.
17. Рябченко В.Н., Смирнова В.Н. Способ и устройство для антикоррозионной обработки перекачиваемой по трубопроводу среды. Патент на изобретение РФ №2175737.
18. Smith C., Coetzee P.P., Meyer J.P. The effectiveness of a magnetic physical water treatment device on scaling in domestic hot-water storage tanks. URL:<http://www.wrc.org.za> (11.10.2011).
19. Maayta A. K., Mohammad M. Fares, Al-Shawabkeh Ali F. Influence of Linear Alkyl Benzene Sulphonate on Corrosion of Iron in Presence of Magnetic Field: Kinetic and Thermodynamic Parameters // International Journal of Corrosion. V. 2010, 9p.
20. Thompson E.A., Burleigh T.D. Accelerated corrosion of zinc alloy exposed to ultraviolet light // Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol.42, Num.3, 2007, pp.237-241.
21. Burleigh T.D., Ruhe C., Forsyth J. Photo – Corrosion of Different Metals during Long – Term Exposure to Ultraviolet Light // Journal Corrosion, Vol.59, №9, 2003.
22. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние магнитного поля на коррозионный износ // Доклады РАН, 2012. Т. 443. №2. С.173-175.
23. Yakupov, N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of a Magnetic Field on Corrosive Wear // Doklady Physics. 2012. Vol.57. No.3. pp.104-106.
24. Якупов Н. М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние ультрафиолетового излучения на коррозионный износ стальных образцов // Доклады РАН, 2012. Т.446. №6. С.624-626.
25. Yakupov, N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of Ultraviolet Radiation on the Corrosive Wear of Steel Samples // Doklady Physics, 2012. Vol. 57. No.10. pp. 393-395.
26. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р. Коррозионный износ тонкостенных элементов при воздействии внешних факторов // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН. Казань: Фолиант, 2011. Т.2. С.203-212.
27. Игнатченко В.А. // ЖЭТФ 40, 1228, 1961.
28. Беляев Б.А., Изотов А.В. Исследование влияния упругих напряжений на анизотропию магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса // Физика твердого тела, 2007, т.49, в.9. С.1651-1659.
29. Neuber H. Theory of Notch Stress. Ann Arbor, Mich.: J.W. Edwards, 1946.
30. Peterson R.E. Stress Concentration Factors. New York: J. Wiley & Sons, 1974.
31. Collins J.A. Failure of Materials in Mechanical Design. Analysis, Prediction, Prevention. The Ohio State University. New York: J. Wiley & Sons, 1981.
32. Якупов Н.М. Об одном методе расчета оболочек сложной геометрии // Исследования по теории оболочек. Тр. семинара. Казань: КФТИ КФАН СССР, 1984. В.17. Часть II. С.4-17.

33. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета оболочек сложной геометрии // Прикладная механика. 1987. Т.23. №3. С.38-44.
34. Корнишин М.С., Якупов Н.М. К расчету оболочек сложной геометрии в цилиндрических координатах на основе сплайнового варианта МКЭ // Прикладная механика, 25, №8. Киев, 1989. С.53-60.
35. Якупов Н.М., Серазутдинов М.Н. Расчет упругих тонкостенных конструкций сложной геометрии. ИММ РАН. Казань, 1993. 207с.
36. Якупов Н.М. Прикладные задачи механики упругих тонкостенных конструкций. ИММ КНЦ РАН, Казань, 1994. 124с.
37. Якупов Н.М., Киямов Х.Г. и др. Методы и подходы исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Строительство. Изв. ВУЗов. №8 (524), 2002. С.14-18.
38. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Киямов И.Х. Моделирование элементов конструкций сложной геометрии трехмерными конечными элементами // Механика композиционных материалов и конструкций, 2011. №1. С.145-154.
39. Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Заявка на изобретение "Способ параметризации локальных углублений на цилиндрических телах и устройство для его осуществления" №2012132347/12 от 27.07.2012. Получено решение о выдаче патента. Дата публикации заявки: 10.02.2014 г. Бюл. №4.
40. Zhou D., McGee O. On the three-dimensional vibrations of elastic prisms with skew cross-section", *Mechanica*, pp.1-24, 2013.
41. Якупов С.Н., Киямов И.Х. Анализ НДС сферических оболочек трехмерными элементами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, №2, 2014. С.76-80.
42. Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. Моделирование напряженно – деформированного состояния цилиндрического тела с локальным углублением трехмерными конечными элементами // Наука и техника в газовой промышленности. №2, 2012. С.53-60.
43. Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. Концентрация напряжений в трубе с протяженным углублением // Газовая промышленность. №7, 2013. С.28-30.
44. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р. Влияние механических дефектов на свойства нагруженных тонкостенных элементов конструкций в агрессивной среде // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №3. С.14-18.
45. www.remneftegaz.ru/remont.
46. Заявка №96/19694. РСТ, 6 МПК F 16 L 55/175, заявл. 22.12.94, опубл. 27.06.96.
47. Патент РФ №2140600, 6 МПК F 16 L 55/172, опубл. 27.10.99, БИ №30, 1999.
48. Патент РФ №2170875. Способ ремонта трубопровода.
49. Усиливающая композиционная муфта УКМТ, ВНИИСЕРТИФИКАЦИЯ, М., 2010.
50. www.pso-ngd.com.
51. Якупов Н.М., Абдюшев А.А. Параметрическое исследование лечащих накладок средствами расчетного комплекса ЭРА-ПК2000 // Известия КГАСУ. №2 (8). 2007. С.61-64.
52. Якупов Н.М., Абдюшев А.А. Исследование влияния лечащих накладок на напряженно-деформированное состояние панелей с системой трещин // Известия КГАСУ, 2009. №2 (12). С.147-151.

53. Абдюшев А.А., Якупов Н.М. Исследование влияния активных и пассивных лечащих накладок на напряженно-деформированное состояние панели с трещиной // Вестник КГТУ. 2010. №4. С.5-9.
54. Кантюков Р.А., Тамеев И.М., Якупов Н.М., Абдюшев А.А., Якупов С.Н. Локальные «лечащие» накладки - покрытия // Коррозия «Территория «НЕФТЕГАЗ» №1 (18), 2011. С.68-71.
55. Якупов Н.М., Абдюшев А.А., Якупов С.Н. Подходы решения проблем безопасности конструкций // Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. 2011. №4. ч.4. С.1894-1896.
56. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р. Коррозионный износ тонкостенных элементов, обработанных методом ионной имплантации // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №3. С.74-79.
57. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Методика анализа работы конструкций, подверженных коррозионному изнашиванию // Вестник машиностроения, №10. 2012. С.36-40.
58. Yakupov N.M., Nurgaliev A.R., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Operation of Structures with Corrosive Wear//Russian Engineering Research,2013, Vol.33, No.2, pp. 69-73
59. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Решение проблемы безопасности конструкций градирен СК 1200 // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН. Казань: Фолиант, 2011. Т.2. С.213-224.
60. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. и др. Опорная система для усиления промышленных зданий. Патент на изобретение РФ №2196209. Бюл. №1.
61. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Якупов С.Н. и др. Устройство для усиления конструкции градирни. Патент на изобретение РФ №2239033. Бюл. №30.
62. Якупов Н.М., Гильманов Х.Х., Якупов С.Н. и др. Опорная система для усиления строительных сооружений. Патент на изобретение РФ № 2263191. Бюл. №30.
63. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. и др. Устройство для усиления конструкции градирни. Патент на изобретение РФ №2326218. Бюл. №16.
64. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. и др. Устройство для усиления зданий и сооружений. Патент на изобретение РФ №2343256. Бюл. №1.
65. Якупов Н.М., Велиолин И.И., Якупов С.Н., Нуруллин Р.Г. и др. «Устройство для предотвращения коррозии». Заявка на изобретение 2013133259/02(049685) с приоритетом от 16.07.2013.
66. Oliver W., Pharr G. J. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 473, 57 (1997).
67. Шугуров А.Р., Панин А.В., Оскомов К.В. Особенности определения механических характеристик тонких пленок методом наноиндентирования // Физика твердого тела. 2008. Т.50, вып. 6. С.1007-1012.
68. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Состояние конструкций градирен и предотвращение их разрушения // Изв. вузов. Сер. Проблемы энергетики. 2006. №7-8. С.36-42.
69. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытания пленок и мембран в условиях равномерного распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008. Т.74. №11. С.54-56.
70. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ испытаний образцов металлических мембран под напряжением и устройство для его осуществления: Патент №2296976.
71. Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик сферических пленок и мембран со сложной структурой // МТТ №3, 2011. С.58-66.

72. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Методология исследования механических характеристик тонких пленок и нанопленок // Вестник Машиностроения. 2009. №6. С.44-47.

73. Yakupov N.M., Nurullin R.G., Yakupov S.N. MECHANICAL PROPERTIES OF THIN FILMS AND NANOFILMS // Russian Engineering Research. 2010. Vol.29. No.6. P.571-574.

74. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов: Патент РФ №2310184.

75. Galimov N.K., Yakupov N.M., Yakupov S.N. Experimental and theoretical method of determining the mechanical characteristics of spherical films and membranes of complex structure // МТТ, №3, 2011. p.58-66.

76. Yakupov N.M., Nurgaliev A.R., Yakupov S.N. Method for experimental testing films and membranes in the conditions of a uniform distribution of surface pressure // Factory laboratory. Diagnosis materials. 2008. Т.74. №11. P.54-56.

77. Yakupov N.M., Nurullin R.G., Yakupov S.N. Method for studying mechanical characteristics of thin films and nanofilms // Bulletin of Engineering. 2009. №6. P.44-47.

78. Савельев А.И., Фетисов И.Н. Обработка результатов измерений при проведении физического эксперимента. М.: Изд-во МГТУ, 1990. 32с.

79. Феодосьев В.И. Упругие элементы точного приборостроения. М.: Госиздат обор. промышленности, 1949, 343с.

80. Муштаров Х.М., Галимов К.З. Нелинейная теория упругих оболочек. Казань: Таткнигоиздат. 1957. 431с.

81. Галимов К.З. К общей теории пластин и оболочек при конечных перемещениях и деформациях // ПИММ. 1951. Т.XV. Вып.6. С.723-742.

82. Ильющин А.А. Пластичность. М.: Гостехиздат, 1948. 376с.

83. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Способ испытания тонкостенных образцов под напряжением. Патент на изобретение РФ №2439537.

84. Якупов Н.М., Вельюлин И.И., Антонов В.Г., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Способ испытания тонкостенных образцов под напряжением и устройство «Летающая тарелка» для его осуществления. Патент на изобретение РФ №2437077.

MECHANICS OF "TREATMENT" THIN-WALLED STRUCTURES

N.M. YAKUPOV, S.N. YAKUPOV

*Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center,
Russian Academy of Sciences*

The cycle of works is directed on a solution of the problem of safe work of thin-walled designs and constructions. Includes diagnostics and "treatment" of the thin-walled designs which are under loading both subject to corrosion wear and affected physical fields, and also designs with local superficial defects. The hypothesis "influences of mechanical deformations on corrosion through change of magnetic characteristics" is made. Ways of protection against corrosion and creation of devices on decrease in level of the maximum tension in defective areas are developed.

KEYWORDS: thin-walled designs, environment and physical fields, superficial defects, corrosion deepening, material loosening, mechanical characteristics, concentration of tension, diagnostics and "treatment".



ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО ЗАКРУЧЕННЫХ СЛОИСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ЛОПАТОК И СТЕРЖНЕЙ ИЗ АРМИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.У. НУРИМБЕТОВ, к.ф.-м.н.

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз,
Alibek_55@mail.ru



В данной работе рассматривается деформация многослойных лопаток и стержней при кручении и растяжении. В работе проанализирован расчет на прочность стержня прямоугольного сечения из композиционного материала. А именно, выбор структуры материала, удовлетворяющей техническим требованиям стержня с точки зрения напряженно-деформированного состояния в условиях крутильно-изгибной связанности с учетом особенностей работы композиционных материалов.

На примере со слоистым стержнем, находящимся под действием центробежных сил показано влияние сдвигов между слоями на перераспределение нормальных и касательных напряжений по слоям. В зависимости от величины коэффициента анизотропии использованного материала нормальные и касательные напряжения во внешних слоях в 2-5 раз увеличиваются. Сравнение этих значений напряжений с предельными для данных слоев позволяет выбрать способ армирования этих слоев. Совокупность данных о влиянии жесткости отдельных слоев на угол раскрутки стержня и его прочность позволяют выбрать наиболее оптимальную укладку армирующих слоев, а также тип арматуры и матрицы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стержень, лопатка, композиционный материал, кручение, растяжение, напряжения, эторы.

В данной работе рассматривается деформация многослойных стержней при кручении и растяжении. Принятая в настоящее время технология изготовления деталей, элементов конструкций из композиционных материалов (к.м.) имеет явно выраженную слоистую структуру [1]. Свойства отдельных слоев и их взаимное расположение в составе пакета таких слоев, в конечном счете, определяют свойства всего материала. Поведение однонаправленного слоя полагается линейно-упругим, а связь между напряжениями и деформациями описывается обобщенным законом Гука. С помощью геометрических представлений для слоистых анизотропных стержней с прямолинейной осью получены кинематические соотношения, которые в последующем использовались для установления основных уравнений [2].

Применение точной теории естественно-закрученных стержней произвольного поперечного сечения на базе общих уравнений теории упругости связано с большими математическими трудностями и приводят к сложным решениям. Поэтому полученная приближенная теория [2] закрученных слоистых стержней произвольного сечения основана на определенных гипотезах, позволяющих разделить компоненты напряжений и деформаций на главные и второстепенные, которым в ряде уравнений пренебрегается. Достоверность приближенной теории закрученных слоистых стержней проверяется сопоставлением с известными для некоторых частных случаев решениями и сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными [3]. Результаты расчета на ЭВМ по линейным соотношениям лучше согласуются с экспериментальными данными, чем существующие в литературе линеаризованные зависимости [3]. Это подтверждает, что предлагаемое кинематическое соотношение (13) [2] полнее отражает взаимодействие деформации кручения и растяжения.

Исследование напряженно-деформированного состояния естественно закрученных слоистых стержней из армированных материалов.

Была проведена серия численных экспериментов с закрученными образцами прямоугольного сечения из чередующихся слоев углепластика и эпоксида (таблица 1) с различными вариантами укладки слоев. Образцы шириной $L = 150$ мм, толщиной $h = 10$ мм и углом закрутки 55° на базе 450 мм. (рис.1).

Таблица. Данные эпоксида и углепластика.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Свойства материала	$E_1, 10^3$ кг/мм ²	$E_2, 10^3$ кг/мм ²	$E_3, 10^3$ кг/мм ²	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}	$G_{12}, 10^3$ кг/мм ²	$G_{13}, 10^3$ кг/мм ²	$G_{23}, 10^3$ кг/мм ²	$\rho, 10^{-10}$ кг/мм ³
Углепластик	15.7	15.7	112.5	0.48	0.03	0.03	3.3	5.3	5.3	1.67
Эпоксид	2.8-4.2		0.33-0.4			0.8-1.5			1,2	

В качестве полимерных связующих волокна была взята эпоксид с упругими характеристиками $E = 3000$ МПа, $G = 938$ МПа, $\nu = 0.33$.

Слой углепластика укладывались начиная с наружных первых четырех чередующих слоев под углом $+60^\circ, -60^\circ, +60^\circ, -60^\circ$ к оси образца, а в остальных слоях укладывались под углом 0° . Общее количество слоев было 40. Объемное содержание углепластика в чередующихся слоях было $\nu_1=0.8$, а связующего эпоксиды - $\nu_1 = 0.2$.

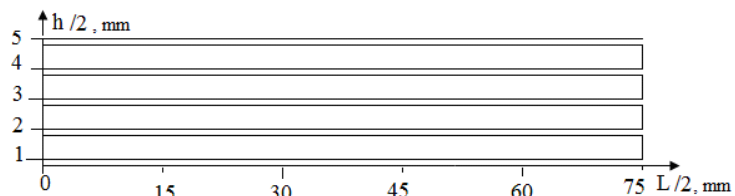


Рис.1. Четверть прямоугольного сечение образца

Расчеты показали, что несмотря на различные упругие характеристики углепластика и матрицы, угол раскрутки τ , деформация растяжения ϵ и изгиба χ_2 у образцов одних геометрических размеров от растягивающих сил P меняется линейно (рис. 2-4).

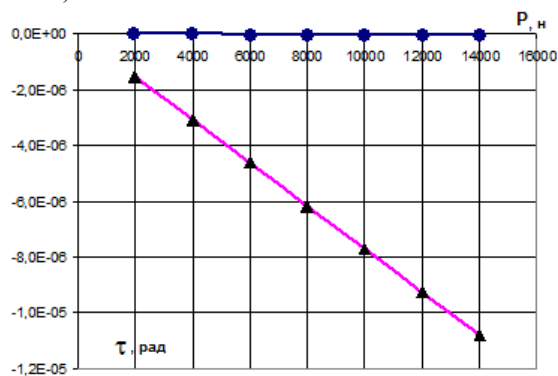


Рис. 2. Изменение деформации раскрутки τ от нагрузки растяжения P

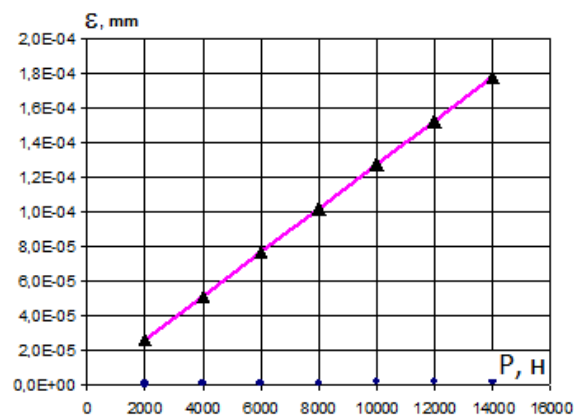


Рис. 3. Изменение деформации растяжения ϵ от нагрузки растяжения P

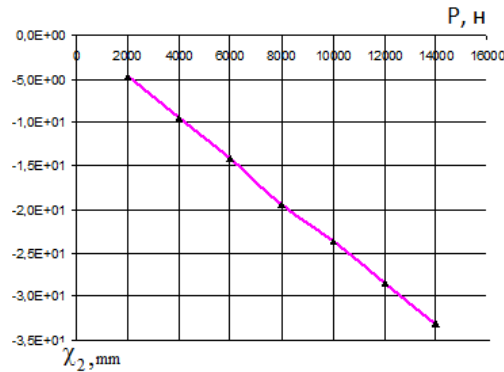


Рис.4. Изменение деформации изгиба χ_2 от нагрузки растяжения P

Таким образом, линейность зависимости угла упругой раскрутки от нагрузки при использовании углепластика не нарушается, чем при применении стеклопластиков. Увеличение модуля сдвига в плоскости слоя образца посредством использования высокомодульных углеродных волокон, расположенных под углом к оси нагружения, а также мягких матриц значительно уменьшает величину параметра гибкости, что позволяет при расчете лопаток из композиционных материалов использовать формулы (13) [2].

Нормальные и касательные напряжения в любой точке прямоугольного сечения находятся из следующих выражений [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^i &= \varepsilon^b (c_{13}^i + c_{15}^i \tau_0 \cos \alpha) - c_{15}^i Q_1 N_1 + \beta_{11}^i T^i, \\ \sigma_{22}^i &= \varepsilon^b (c_{23}^i + c_{25}^i \tau_0 \cos \alpha) - c_{25}^i Q_1 N_1 + \beta_{22}^i T^i, \\ \sigma_{33}^i &= \varepsilon^b (c_{33}^i + c_{35}^i \tau_0 \cos \alpha) - c_{35}^i Q_1 N_1 + \beta_{33}^i T^i, \\ \sigma_{23}^i &= \varepsilon^b \tau_0 c_{44}^i \sin \alpha - c_{44}^i Q_2 N_2, \\ \sigma_{13}^i &= \varepsilon^b (c_{35}^i + c_{55}^i \tau_0 \cos \alpha) - c_{55}^i Q_1 N_1 + \beta_{13}^i T^i, \\ \sigma_{12}^i &= c_{44}^i \tau_0 \sin \alpha \cdot \varepsilon^b - c_{46}^i Q_2 N_2, \\ \varepsilon_{33}^i &= \varepsilon^b \approx \varepsilon - \xi \chi_2 + \eta \chi_1 + \tau_0 \tau r^2, \quad \alpha = \tau_0 \zeta, \end{aligned}$$

Неравномерность распределения нормальных напряжений σ_{33}^i возрастает: их значения в чередующих слоях углепластика с углами армирования 0^0 в три раза больше, чем в слоях с углами армирования $\pm 60^0$ (рис. 5). Увеличение нормальных напряжений σ_{33}^i в слоях углепластика с углами армирования 0^0 связано с тем, что параметр упругости $c_1^i = c_{33}^i + c_{35}^i \tau_0 \cos \alpha$ [2] при $\pm 60^0$ меньше чем при 0^0 .

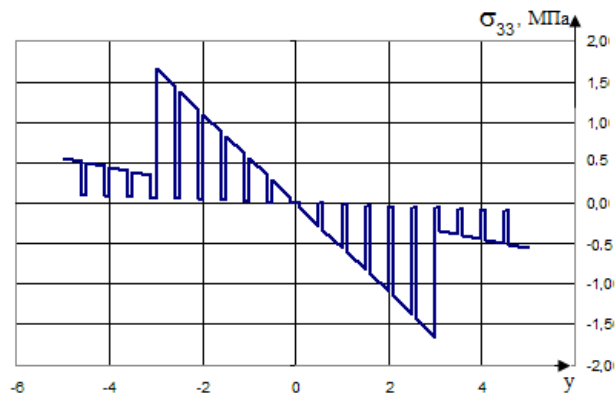


Рис.5. Распределение нормального напряжения σ_{33}^i по толщине h

Касательные напряжения σ_{12}^i обычно малы и имеют порядок [2] $\frac{I_{03}\tau}{J_p h} \sigma_{13}^i$, где $I_{03} = \frac{1}{3} \int_F y^3 dF$, $J_p = \frac{1}{3} \int_F r^2 dF$, что составляет 20% от σ_{13}^i .

Поэтому, при расчете изотропных стержней напряжением σ_{12}^i обычно пренебрегают. В композиционных слоистых материалах напряжения σ_{12}^i , действующих между слоями, представляют опасность, чем напряжения σ_{13}^i , действующие в плоскости слоев. Потому что прочность КМ на сдвиг между слоями, на порядок меньше прочности на сдвиг в плоскости слоя. На рис.6 приведены эпюры напряжений σ_{12}^i по толщине слоя. Видно скачкообразное изменение при переходе от слоя с углом армирования углепластика $\pm 60^\circ$ к слою из материала эпоксиды, что может привести к потере прочности мягкого слоя.

На рис.7 приведены эпюры напряжений σ_{13}^i по толщине слоя. Видно скачкообразное изменение при переходе от слоя с углом армирования углепластика $\pm 60^\circ$ к слою из материала эпоксиды. В слоях углепластика с углами армирования $\pm 60^\circ$ происходят сжимающие (растягивающие) напряжения, а в мягких слоях эпоксиды имеются растягивающие (сжимающие) напряжения. Напряжения 0.1 МПа для мягкого слоя эпоксиды может привести к местной потере прочности.

На рис. 8 приведены эпюры касательных напряжений σ_{23}^i по толщине h . видно, что перекрестным армированием углепластика можно уменьшить уровни касательного напряжения σ_{23}^i .

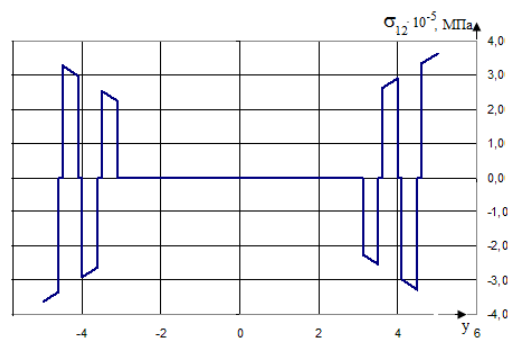


Рис.6. Распределение касательного напряжения σ_{12}^i по толщине h

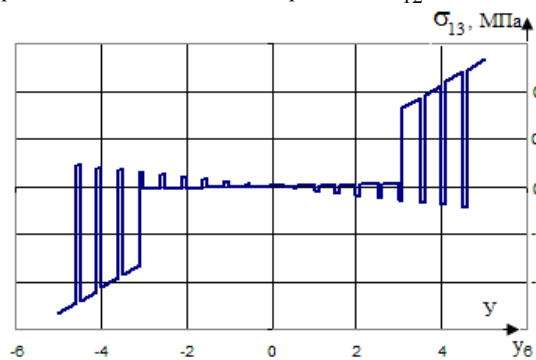


Рис.7. Распределение касательного напряжения σ_{13}^i по толщине h

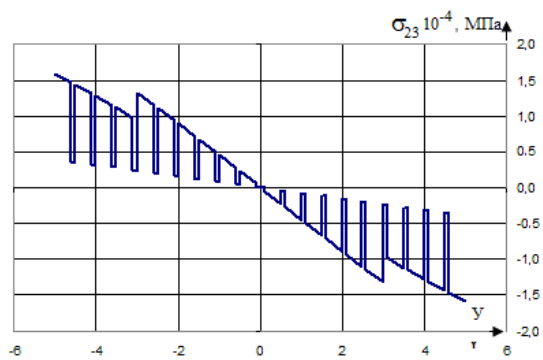


Рис.8. Распределение касательного напряжения σ_{23}^i по толщине h

На рис. 9 приведены эпюры напряжений σ_{11}^i по толщине h . видно, что при переходе от слоя с углами армирования углепластика $\pm 60^\circ$ к слою эпоксида происходит увеличение разрыва градиента напряжений σ_{11}^i , превосхо-

дующий уровни нормальных напряжений σ_{33}^i . В этом случае может происходить расслоение материала.

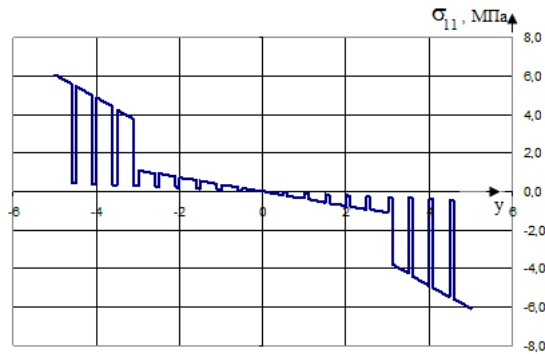


Рис.9. Распределение касательного напряжения σ_{11}^i по толщине h

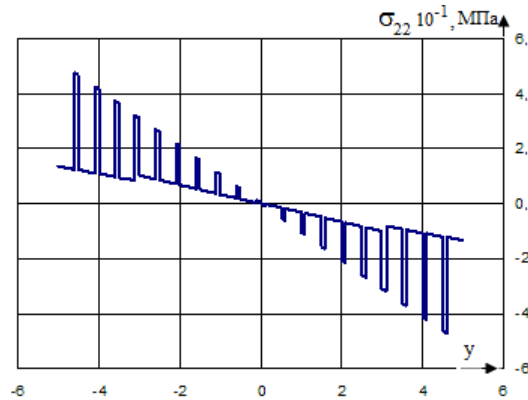


Рис.10. Распределение касательного напряжения σ_{22}^i по толщине h

На рис.10 приведены эпюры напряжений σ_{22}^i по толщине h . Видно, что при переходе от слоя с углами армированием углепластика $\pm 60^0$ к слою эпоксиды происходит уменьшение уровня напряжений в слоях с эпоксиды, при переходе от слоя с углами армированием углепластика 0^0 к слою эпоксиды увеличение уровня напряжений σ_{22}^i . Следовательно, с помощью перекрестного армирования слоев можно достичь уменьшения уровня градиента напряжений σ_{22}^i .

На рис. 11-12 приведена зависимость напряжений σ_{13}^i по толщине слоя от нагрузки в слоях с углом армирования углепластика $\pm 60^0$ и эпоксиды.

Сохраняется линейное изменение напряжений от нагрузки P . В слоях углепластика с углами армирования $\pm 60^0$ происходит сжимающие (растягивающие) напряжения, а мягких слоях эпоксида имеется растягивающие (сжимающие) напряжения. Следовательно, с увеличением нагрузки, увеличение напряжения σ_{13}^i для мягкого слоя может привести местной потере прочности.

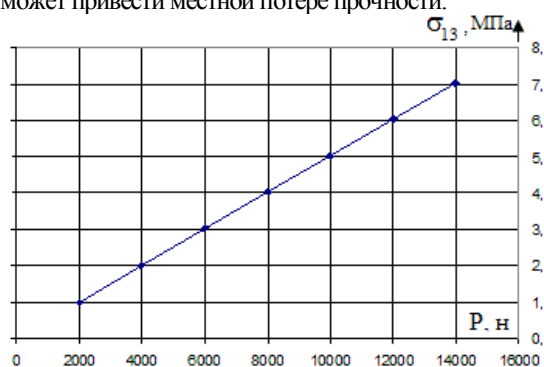


Рис. 11. Распределение касательного напряжения σ_{13}^i в матрице по толщине h

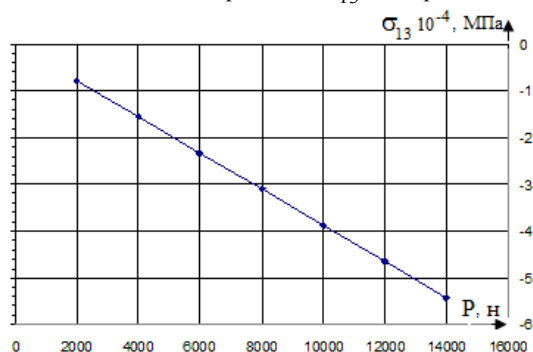


Рис. 12. Распределение касательного напряжения σ_{13}^i в наполнителе по толщине h

Выводы

Таким образом, в работе проанализирован расчеты на прочность стержня прямоугольного сечения из композиционного материала. А именно, выбор структуры материала, удовлетворяющей техническим требованиям стержня с точки зрения напряженно-деформированного состояния в условиях крутильно-изгибной связанности с учетом особенностей работы КМ.

На примере со слоистым стержнем, находящимся под действием центробежных сил показано влияние сдвигов между слоями на перераспределение нормальных и касательных напряжений по слоям. В зависимости от величины коэффициен-

та анизотропии использованного материала нормальные и касательные напряжения во внешних слоях в 2-5 раз увеличивается. Сравнение этих значений напряжений с предельными для данных слоев позволяет выбрать способ армирования этих слоев.

Как показали расчеты (рис.7) , вследствие малой сдвиговой жесткости между слоями внутренние мягкие слои под действием растягивающих сил смещаются относительно внешних, происходит искривление сечений, которое достигает наибольшей величины в середине сечений. Искривление сечений приводит к перераспределению нормальных (рис.3-9) и касательных напряжений по толщине стержня. Нормальные напряжения резко возрастает во внутренних слоях однонаправленного материала по сравнению в слоях с перекрестно армированными материалами.

Поэтому, при проектировании лопаток необходимо учитывать возможное увеличение напряжений во внешних слоях. Прочность углепластика ~588 МПа и коэффициент увеличения напряжений довольно высок – 1.8.

Видно, что при увеличении числа перекрестных слоев касательные напряжения, возникающие между продольными слоями, резко возрастают.

Как видно из приведенных примеров, использование полученной полупространственной теории закрученных стержней [2] позволяет не только оценить вклад каждого слоя в эффективную жесткость на кручение, но и определить напряженное состояние каждого слоя, что особенно важно при определении слабого звена в исходном материале. Совокупность данных о влиянии жесткости отдельных слоев на угол раскрутки стержня и его прочность позволит наиболее оптимальную укладку армирующих слоев, а также тип арматуры и матрицы .

Как показали расчеты, слоистые стержни в результате деформации сдвига имеют большее удлинение и изгиб. Поэтому необходимо учитывать этот фактор при изготовлении лопаток. Величина удлинения и изгиба, также нормальных напряжений зависит от параметров E_3 , G_{23} , L , h .

Анализ напряжено-деформированного состояния естественно закрученных стержней из композиционных материалов позволяет выявить особенности работы армированного материала в условиях изгибно-крутильной связанности. В слоистых стержнях с большими коэффициентами анизотропии ($\frac{E}{G} \geq 50$) неравномерность

нормальных и касательных напряжений в поперечном сечении при растяжении значительно сильнее, чем в изотропных мягких слоях. При растяжении даже для слабо закрученных стержней с большой относительной толщиной при использовании композиционных материалов на кромках могут возникнуть сжимающие (растягивающие) напряжения, что нежелательно для армированных материалов.

Подбирая укладку слоев, их расположение в теле стержня, тем самым меняя соотношение упругих постоянных, можно добиться минимального значения угла упругой раскрутки, деформации растяжения и изгиба при растяжении естественно-закрученного стержня в сочетании с приемлемыми величинами напряжений. Приведенные графики на рис.2-12 позволяют найти оптимальное сочетание крутильной жесткости с жесткостью при растяжении для стержней любых геометрических раз-

меров, что позволяет оценить композиционный материал с точки зрения применимости его в рабочих лопатках компрессора.

Литература

1. Нуриμβетов А.У. Автоматизированное проектирование раскроя деталей произвольного поперечного сечения из слоистых композиционных материалов // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». М.: - 2009 - №4. - С. 92-101.

2. Нуриμβетов А.У., Туреханова Г.И., Жанбосынов Р.С. Деформация естественно-закрученных многослойных анизотропных стержней при кручении и растяжении// Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference «EFEKTIVNI NASTRJE MODERNICH věd – 2013». - Díl 42. Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o - 96 stran, С.17-22.

3. Нуриμβетов А.У., Туреханова Г.И., Жанбосынов Р.С. Сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами кручения, изгиба и растяжения естественно-закрученных стержней//Материали за IX международна научна практична конференция «Новината за напреднали наука -2013». – том 57. Технологии: София. «Бял.ГРАД-БГ» ООД – с. 26-31.

THE STUDY OF NATURALLY TWISTED LAYERED ANISOTROPIC BLADES AND RODS COMPOSITE MATERIALS

A.U. NURIMBETOV, *c p.m.s.*

MAI (national research University), Moscow

In this paper we study the deformation of multilayered blades and rods under torsion and tension. Thus, we analyzed the calculations on the strength of a rod of rectangular cross-section of the composite material. Namely, the choice of material structure that meets the technical requirements of the rod from the point of view of the stress-strain state in terms of the torsional-Flexural coupling with regard to the characteristics of composite materials.

For example, with a layered rod under the action of the Centro-foreign forces shows the effect of shifts between the layers on the redistribution of normal and tangential stresses in the layers. Depending on the magnitude of the coefficient of anisotropy of the material used normal and shear stresses in the outer layers 2-5 times increases. The comparison of these values with stress limit for data layers allows you to select how the reinforcement of these layers. The collection of data about the influence of the stiffness of the individual layers on the angle of the spin rod and its strength to allow the most optimal laying of the reinforcement layers, and the type of reinforcement and matrix.

KEYWORDS: *Rod, blade, composite material, torsion, tension, tension, plot.*



SOME ASPECTS OF CONTEMPORARY TRENDS IN CIVIL ENGINEERING

M. DRAGOVIĆ¹, *Dr Sci, Assistant professor,*

M. SREČKOVIĆ¹, *Dr Sci, Professor,*

A. ČUČAKOVIĆ¹, *Dr Sci, Associated professor,*

S.L. SHAMBINA², *PhD, Associated professor.*

¹*University of Belgrade, Serbia*

²*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

In this research several topics concerning contemporary civil engineering and architecture are introduced: problems regarding structural system choice (with respect to the geometric design of the building), suitable materials search (regarding durability, reliability, technical feasibility and optimal solutions), ecological aspect of the innovative materials and constructions, aspects of the strength of chosen materials, contemporary methods for the monitoring of the materials, shapes, and tracking of the stress in critical (crack) points of the structural system, composite materials role, facade solutions, geometric design shape with respect to energy efficiency and futurism in the building context.

KEYWORDS: civil engineering, structural systems, durability, composite materials, architecture, strength of materials, geometry, twisted structures.

Complexity of the building process regarding each civil engineering and architectural structure includes wide palette of tasks: from geometric design, via structural system, building technology, applied material, to a posteriori control – construction monitoring and material testing. These tasks concern the separate component as well as the whole. Contemporary life style and engineering necessity demanded energy efficiency analyses, as well (fig.1).

Simultaneously, the creation and the failure of the structures, through the history of the civilization both influenced on development of design, building materials and technologies. The failure analysis of civil engineering and architectural cultural heritage, with the deepest insight into the building practice and experience, consequently improved all the components of building process. Amongst the others, the famous historical document – Hammurabi's code of laws testified that tendency.

The strength of applied materials varied, depending on the place of its installation - critical points, joints, complex curved surfaces, etc. The influences of the temperature, wind and seismic disturbances, must have been predicted and included in calculations and design. Such kind of influences provoked the specific architectural trends (green architecture, seismic architecture, etc). Terrain observations during defined time period are unavoidable regarding the structure's function (residential buildings, multifunctional buildings, dams,

airports, stadiums, oil platforms, satellite stations, power plants, etc.) and their reliability level.

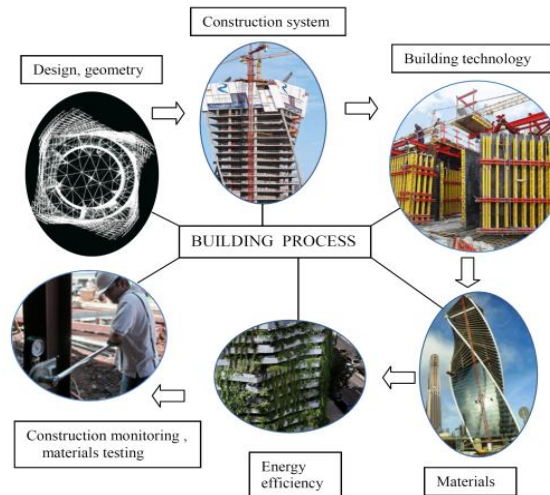


Fig.1. Necessary building process components

Civil engineering revolution in structural systems, at the beginning of 21st century arisen along with diagrid, which adaptability enabled obtaining various shapes, both rectilinear and curvilinear, in the design of the most daring architectural creations [1]. The "diamond pattern" on the facades of the famous: Swiss Re building, Mary Axe in New York (arch. N. Foster), CCTV Headquarters building in Beijing, Seattle Public Library (both designed by OMA architects), Zaragosa Bridge Pavillion in Spain (arch. Zaha Hadid), etc. appeared in the variety of combinations of steel structural elements and glass surfaces, each one with the characteristic spatial shapes, building materials and technologies.

The forefather of diagrid's "geometry"- Buckminster Fuller, visionary engineer, proclaimed non collapsible essence of triangular structure with strong joints, and applied this principle to the tansegrity and geodesic constructions. Maybe more closer to the diagrid's "eyelets" reached engineer V. Shukov, with one sheeted hyperboloid shaped lightweight structures. Following the simple principles both entranced a new structural building approach supported by software analysis of various loads and influences. First direction, originated from Shukov's structure - self supportive light weight lattice, brought up several innovative directions in building shapes: from horizontal lattice bridges (fig. 2, 3), to some other "twisted" civil engineering structures (fig. 4) [2, 3].



Fig.2.
Hyperboloid bridge in
Manchester



Fig.3.
Horizontal "twisted" bridge in
Netherlands

On the other hand, resisting even the gravitation laws diagrid overcame the vertical eccentricity of the objects (fig.5). In order to obtain rigidity of the structure "Ring beams at the floor edges are normally tied into the diagrid to integrate the structural action into a coherent tube and connect the same to the floors, and back to the core" [1]. Hence the geometric shape of the building became artistically almost free of limitations. Although the seismic rules prefer simpler shapes, due to structural stability, likewise symmetry and uniformity, the present projects of architectural buildings are often struggling against it [4].

The interesting examples of such efforts are designs of Tod's building in Omotesando area - Tokyo (arch. T. Ito & Assoc.), where the facade construction successfully imitates the nature: tree trunks with branches leaning on the street (fig. 6), likewise CCTV Headquarters - Beijing (OMA, R. Koolhaas and O. Scheeren arch.), with diagrid as exoskeleton of unusual eccentric object's geometry (fig. 7).

Earthquake architecture become challenging for the towns with seismic areas. One of the adopted concepts is of seismic insulation (object's reliance on series of flexible seismic insulators or dampers) [4]. K. Moon studied diagrid's optimization on very tall buildings, concerning angle of diagrid with respect to



Fig. 4.
Capital gate in Abu
Dhabi

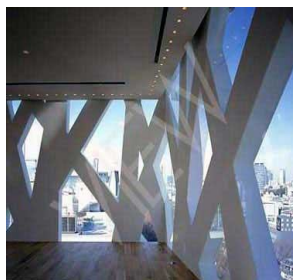


Fig. 5.
Tod's building in Tokyo



Fig.6.
CCTV in Beijing

the object's dimensions [5]. Present digital design techniques, like parametric modeling, or building information modeling - BIM enable optimization and parametric control of the structural design.



Fig. 7.
Al Bahr towers



Fig. 8.
Mexico City's hospital

In order to achieve creativity in direction of energy efficiency and ecology, regarding insulation and air streaming, some amazing facade tessellation elements (inspired by tradition - mashrabiya) were designed on high Abu Dhabi tower, where traditional mud, clay and wood were replaced with the "smart"- dynamic facade solution (fig.7). The air purification process in Mexico City's hospital upholds ornate "double skin" with carbon air filters (fig.8).

"Construction monitoring and materials testing are the bridge between design and safe, economical, high quality, completed project" [6]. Contemporary methods overview for the estimation of structural system stability, stress distribution and critical point are numerous. Elion techniques (contactless and distant methods) progressively replaced more classical. The other methodologies incorporate fiber optic's elements with lasers [7].

Fracture theory can be treated on microscopic (atomic) and macroscopic levels [8]. The first one is connected to material structure, for performances linked to the crystal lattice (or adequate characteristics of amorphous materials). Macroscopic consideration refers to defined magnitudes (elastic moduli, crack threshold, etc) according to limited (critical) engineering regulations, based on theory and long term experience in civil engineering and architecture areas. Adequate safety coefficients are macroscopic ones, but their essence is linked to the prediction knowledge of initial cracks and whole kinetics. This is connected to the type of applied material: mono-crystal, poly-crystal, metal, glass, composites (aluminium panels PEFR), PCM materials, polymer cement, etc. [9]. However, these questions are always present in the fracture theory with multi-disciplinary approach, supported by software simulations.

The latest constant development of experimental techniques of model proto-typing and testing by optical/laser methods (polarimetry, holography, tomography, holographic interferometry, or methods with incorporated fibers) [10]. Two types of devices are developing in CW or pulse regimes. The principal difference is linked to parasite mechanical vibrations which should be avoided during measurements.

Conclusion: Creative ideas grew through the time, according to the "taste" and courage of the designers, but the building realization is faster and more reliable, considering contemporary civil engineering equipment and previous investigations of the seismic stability, climate, surroundings (underground, air, or water), etc.

Classical buildings were rather limited by materials and technologies, while contemporary design is almost free in expression: the shapes are double curved (2nd or 3rd order surfaces), or free form; structural systems overcame heights and eccentricity, while modern materials improved in mechanical properties gravitate to composites obtaining energy efficiency and ecology; adequate software solutions and simulations offer faster predictions for static and dynamic behavior of structure and its components. All these improvements promise miraculous futuristic creations.

References

1. *Boake T. M.* Diagrids the new stability system: combining architecture with engineering/ Building solutions for Architectural Engineering, 2013. - pp. 574 - 583.
2. *Dragović M.*, PhD thesis - Constructive procedures in spatial transformation of the surface - EHOS, Belgrade University, Faculty of Architecture, 2013.
3. *Шамбина С. Л.* Многогранные коробчатые поверхности и их применение в архитектуре / Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014, №1 - М.: Изд-во РУДН, 2014. - С. 18 – 24.
4. *Charleston A., Tayler M.*, Earthquake architecture explorations. 13th World Conf. on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Aug 1-6, 2004, No 596.
5. *Moon S. K.*, et al. Diagrid structural systems for tall buildings-characteristics and methodology for preliminary design./ Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.6, No 2, 2007. - pp. 205 - 230.
6. Citation from <http://www.geostructures.net/services.php>
7. *Kirić M., Srećković M.* Modern approach to control and nondestructive testing methods. Fundamentals of fracture mechanics and structural integrity. – Belgrade, 2009. - pp. 237 - 260.
8. *Finkel V. M.* Fracture Physics. – Metallurgya, Moscow, 1970. (in Russian)
9. *Шамбина С. Л.* Анизотропные материалы и особенности расчета конструкций из них/ Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2005, №1. – М.: Изд-во РУДН, 2005. - С. 113 – 118.
10. *Nestorović M. et al.* Rapid prototyping: constructing physical models of architectural geometry/ Int. conf. Geometrical and computer simulation: safe energy, ecology, design. Crimea, Simferopol, Ukraine, 7 - 10 oct. 2013. - pp.187 - 192.

Figures

Fig.1 http://www.bi-constructionnews.com/en_article_Evolution_Tower_Moscow.news; http://www.geostructures.net/images/construction_1.jpg;
<http://www.pinterest.com/pin/8444318025193886/>

Fig.

2

<http://www.mathematik.unibiefeld.de/~sek/la2/material/einschalig.htm>

Fig. 3 http://www.west8.nl/projects/bridge_vlaardingse_vaart/

Fig. 4 <http://worldamazinginformation.blogspot.com/2011/04/world-furthest-leaning-man-made-tower.html>

Fig. 5 <http://www.arcspace.com/CropUp/-/media/57291/5tod.jpg>

Fig. 6 <http://www.phaidon.com/resource/buildingmillennium-p148-01.jpg>

Fig. 7 <http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas/>.

Fig. 8 <http://www.inform.kz/eng/article/2593501>

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М. ДРАГОВИЧ¹ (Сербия), *Dr Sci, Assistant professor*

М. СРЕЧКОВИЧ¹ (Сербия), *Dr Sci, Professor*

А. ЧУЧАКОВИЧ¹ (Сербия), *Dr Sci, Associated professor*

С.Л. ШАМБИНА² (Россия), *к.т.н., доцент.*

¹Белградский университет, Сербия

²Российский университет дружбы народов

В этом исследовании рассматриваются несколько тем, касающихся современного строительства и архитектуры. Это вопросы, связанные с выбором конструктивной схемы (с точки зрения геометрической структуры здания), поиском подходящих материалов (с точки зрения их прочности, долговечности, надежности, технического обоснования и оптимального решения), экологический аспект инновационных материалов и конструкций. Также рассматривается роль современных методов мониторинга конструкций, использования композитные материалы в так называемых «умных» домах, современные фасадные решения, зависимость энерго-эффективности здания от геометрической конструкции его формы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, структурные системы, долговечность, композитные материалы, архитектура, прочность материалов, геометрия, скрученные конструкции.



**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПОТЕРИ
УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГИХ НЕОДНОРОДНЫХ
ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ
ТЕРМОСИЛОВЫХ НАГРУЗОК**

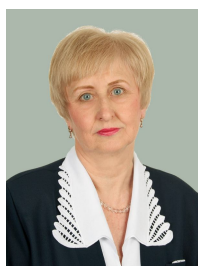
В.А. БАЖЕНОВ, *д.т.н, профессор*

О.П. КРИВЕНКО, *к.т.н., с.н.с.*

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
г. Киев, Украина, e-mail: olakor@ukr.net*



Баженов В.А.



Кривенко О.П.

Изложены основы метода решения статических задач геометрически нелинейного деформирования и устойчивости упругих неоднородных оболочек сложной формы и структуры при действии термосиловой нагрузки. Метод базируется на соотношениях геометрически нелинейной трехмерной теории термоупругости и моментной схемы конечных

элементов. Рассмотрены задачи, на которых исследованы особенности термоупругого деформирования, потери устойчивости и закритического поведения тонких оболочек неоднородной структуры при действии термосилового нагружения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тонкая неоднородная оболочка, геометрически нелинейное деформирование, устойчивость, закритическое поведение, универсальный пространственный конечный элемент, термосиловое нагружение.

Тонкостенные оболочечные конструкции широко используются в разных отраслях современной техники и строительства. В некоторых случаях их применение обуславливается непосредственно архитектурными, производственными, технологическими или другими факторами. Поэтому оболочечные системы могут совмещать в себе разнообразную конструктивную неоднородность: ребра и накладки, выемки и каналы, подкрепленные и неподкрепленные отверстия, местные утолщения и утончения, изломы срединной поверхности и другие особенности. В этих случаях классические расчетные схемы, методы и алгоритмы, оказываются малоэффективными или совсем непригодными.

Повышенным требованиям относительно надежности, прочности и экономичности конструкции отвечают оболочки, имеющие многослойную структуру материала. Обычно такие оболочки состоят из композитных

материалов с разными физико-механическими свойствами. Наиболее распространенными на практике композитными материалами являются материалы с волокнистой структурой. Эти материалы эффективно используются в тонкостенных оболочечных конструкциях, которые имеют небольшую массу и разнообразные геометрические формы.

Как правило, в процессе эксплуатации оболочки находятся в сложных условиях действия силовых и температурных нагрузок. При этом температурные поля могут существенно влиять на напряженно деформированное состояние (НДС) и быть важным фактором, от которого зависит несущая способность конструкции.

Подобные усложнения конструкций и нагрузок приводят к необходимости решать задачи нелинейного деформирования и потери устойчивости оболочек с позиций трехмерной геометрически нелинейной теории термоупругости, поскольку упрощенные подходы теорий тонких оболочек могут приводить к существенным погрешностям. В настоящее время такой универсальный подход при исследовании тонких оболочек приобретает все большее распространение и отвечает современным тенденциям развития новых методов их расчета. Решение рассмотренных проблем наиболее успешно может быть выполнено методом конечных элементов, признанным ведущим методом при численном анализе НДС и устойчивости оболочечных конструкций сложной формы.

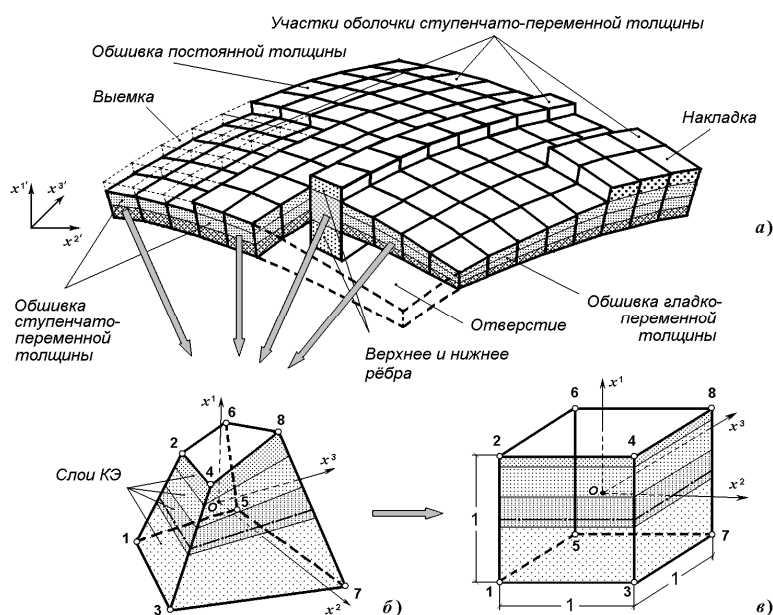


Рис. 1

С единых позиций пространственной геометрически нелинейной теории термоупругости в работах [1-5] разработана конечно-элементная методика исследования геометрически нелинейного деформирования, устойчивости и закритического поведения упругих оболочек различной формы и структуры при статическом действии силовых и температурных нагрузок. Использована модель линейно-упругой сплошной среды, свойства которой отвечают обобщенному закону Дюамеля-Неймана, при больших перемещениях и малых деформациях. Применена моментная схема конечных элементов, распространенная на задачи термоупругого деформирования тонких неоднородных оболочек. Под неоднородностью оболочки понимаются ее геометрические особенности в виде непрерывно-переменной и ступенчато-переменной толщины и структурные неоднородности материала по толщине и в плане в виде комбинации многослойных пакетов (рис. 1, *a*). Обшивка оболочки и подкрепляющие ее ребра могут состоять из произвольного числа слоев переменной толщины, соединенных между собой в единый пакет. Каждый слой материала может быть анизотропным и разным.

Для моделирования термоупругих свойств неоднородного материала оболочки принят подход, который базируется на структурировании неоднородностей материала по толщине и в плане оболочки с помощью многослойного пространственного конечного элемента (КЭ) [1,2]. Материалы слоев представляются как однородные анизотропные материалы с заданными термоупругими свойствами. В рамках созданной модели [1,2] многослойный конечный элемент можно использовать в качестве КЭ, который позволяет моделировать материал оболочки разными типами традиционных и композитных материалов слоев. Таким образом, за счет использования композитных материалов расширяется возможность моделирования универсальным многослойным КЭ разных классов неоднородных оболочек. Принято [6], что любые материалы слоев, термоупругие свойства которых задаются непосредственно по известным техническим константам, относятся к классу традиционных. Те материалы, свойства которых определяются по микромеханическим характеристикам их компонентов, относятся к классу композитных материалов. В пределах одного КЭ волокнистый материал естественно принимается как однонаправленный, то есть все волокна прямые и параллельные в одном направлении. В разных КЭ прямые волокна могут иметь разные направления. За счет этого можно моделировать криволинейную анизотропию материала слоя неоднородной оболочки. Учитывая, что определение характеристик материала реализуется по структурным параметрам его компонентов, поэтому на этом этапе разработанную методику можно рассматривать как микромеханическую.

Рассматривается установившийся температурный процесс, при котором температурное поле в объеме оболочки полагается известной и независимой от НДС функцией координат [1,5]. Исходя из тонкости оболочки, распределение температуры по толщине слоя принято линейным.

Конечно-элементные соотношения получены вариационным методом в криволинейных координатах с учетом всех нелинейных членов, компонент тензоров деформаций и напряжений. Тонкая оболочка, рассматриваемая как трехмерное тело, моделируется по толщине одним изопараметрическим пространственным КЭ с полилинейными функциями формы, который может располагаться эксцентрично относительно срединной поверхности обшивки неоднородной оболочки (рис. 1; $x^{i'}$, x^k – координаты глобальной декартовой и местной косоугольной систем, ось x^1 местной системы координат направлена по толщине и не обязательно по нормали к срединной поверхности). Особенности НДС тонкой неоднородной оболочки учтены использованием двух неклассических гипотез: о постоянстве нормальных напряжений обжатия волокон слоев в направлении толщины и деформируемой прямой. Последняя гипотеза позволяет выполнять в процессе деформирования стыковку пространственных КЭ без нарушения совместности по координатам и перемещениям, а также моделировать естественным образом изломы в оболочке, наклоны стенок ребер, выемок и отверстий. В направлении толщины распределение перемещений принято линейным, что является общепринятым в теории тонких оболочек [7].

Возможности элемента расширены за счет введения дополнительных переменных параметров, что позволило моделировать участки оболочки постоянной, непрерывно-переменной и ступенчато-переменной толщины, а также разные типы материалов слоев. За счет варьирования величинами дополнительных переменных параметров пространственный КЭ приобрел свойства универсального.

На базе универсального КЭ разработана единая расчетная модель, учитывающая многослойную структуру материала и геометрические особенности конструктивных элементов неоднородной оболочки: обшивку переменной толщины, ребра и накладки, выемки, каналы и отверстия, изломы срединной поверхности.

Построен эффективный шаговый алгоритм решения задач нелинейного деформирования, устойчивости и закритического поведения тонких неоднородных оболочек. Алгоритм сочетает метод продолжения решения по параметру с итерационной процедурой Ньютона-Канторовича на шаге нагружения. Реализованы методики определения на диаграмме “нагрузка-прогиб” особых точек (ветвления и критических) и автоматизированной корректировки параметров алгоритма в процессе счета. Это позволило проходить диаграмму независимо от ее формы и сложности в режиме приближенном к оптимальному по затратам времени решения задачи. совме-

стное действие на оболочку силовых и температурных полей рассматривается как единый процесс нагружения, для чего задаются соответствующие зависимости между общим параметром нагрузки и параметрами температурных и силовых полей.

Методика исследования НДС, устойчивости и закритического поведения тонких упругих неоднородных оболочек при действии термосиловых нагрузок реализована в виде вычислительного комплекса, который характеризуется автоматизацией процесса решения задачи, а также широкими возможностями визуализации и документирования результатов расчета.

Для широкого класса неоднородных оболочек, подверженных действию температурных и силовых нагрузок, в работах [1-5] выполнено численное обоснование достоверности получаемых линейных и нелинейных решений путем исследования их сходимости и сравнением с результатами других авторов.

В данной работе возможности разработанного метода продемонстрированы на примере исследования влияния разных режимов термосилового нагружения на устойчивость квадратных в плане сферических панелей (ребристых, с каналами и отверстием) шарнирно опертых по контуру [1, 3, 4]. Рассмотрены разнообразные действия (отдельные, последовательные и совместные) силовых и температурных нагрузок. Разные режимы термосилового нагружения в расчетах строительных, авиационных, космических и других конструкций могут возникать, например, вследствие изменения климатических условий, из-за разности скоростей нагрева тонкой обшивки и массивных элементов силового каркаса и т.п.

Рассматриваются панели с параметром кривизны K ($K = 2a^2/(Rh)$), где h – толщина обшивки, a – размер в плане, R – радиус срединной поверхности). Приняты следующие исходные данные: $E = 20.59 \cdot 10^4$ МПа, $\nu = 0.3$, $\alpha = 0.12 \cdot 10^{-4}$ град $^{-1}$, $h = 0.01$ м, $a = 60h$. Результаты исследований приведены с использованием безразмерных параметров $\bar{q} = a^4 q / (Eh^4)$, $\bar{u}' = u' / h$, где u' – прогиб панели вдоль оси x' . Расчетная конечно-элементная модель – четверть панели с двумя плоскостями симметрии.

1. Исследовано влияние на устойчивость ребристых панелей, подкрепленных с внутренней стороны обшивки двумя перекрестными ребрами (высотой $h_p = 3h$ и шириной $b_p = 2h$), комбинированного действия равномерно распределенного нормального давления интенсивностью q , равномерно нагрева обшивки оболочки на T^o градусов и ребер на T^p гра-

дусов (рис. 2). Нагрев обшивки и ребер на 20°C заканчивался при значении давления $\bar{q}_{кр}^{e0}$, отвечающего критической нагрузке при действии на ребристую панель только давления. Далее нагрев прекращался, и изменение давления происходило при зафиксированном (неизменном) температурном поле. Для пологой ($K = 32$) и непологой ($K = 48$) панелей рассмотрено четыре варианта термосилового нагружения, которые на рисунках снабжены соответствующими обозначениями.

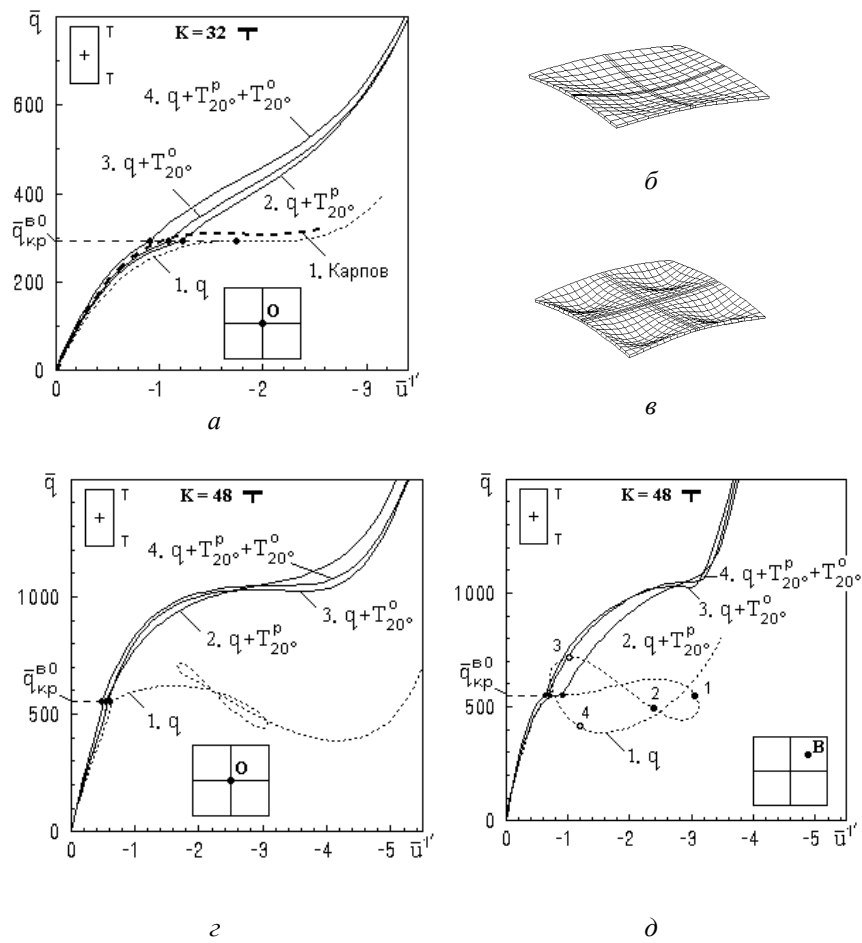


Рис.2

В первом варианте нагружения на пологую ребристую панель действовало только давление (на рисунках соответствующие кривые обозначены надписью “1. q ”). Анализ диаграмм “нагрузка – прогиб” ($\bar{q} - \bar{u}$) центра панели показал хорошее совпадение с нелинейным решением [8] (рис. 2, а). При этом величина безразмерного параметра верхней критической нагрузки $\bar{q}_{кр}^{e0} = 293.2$ на 5.5% меньше полученной в работе [8]. Первый вариант нагружения использовался как базовый для сравнения и определения влияния разных режимов нагрева на устойчивость ребристой оболочки.

Если под действием только давления ребристые пологая и непологая панели прохлопывают соответственно в центре (рис. 2, б) и четвертях (рис. 2, в), то все варианты с нагревом приводят к увеличению жесткости панелей и исчезновению явления потери устойчивости. Наиболее жесткой становится панель при одновременном нагреве обшивки и ребер (обозначение “4. $q + T_{20}^P + T_{20}^O$ ”), наименее – при нагреве только ребер (“2. $q + T_{20}^P$ ”). Моменту прекращения нагрева ($\bar{q} = \bar{q}_{кр}^{e0}$) отвечает появление точки излома на диаграммах. При дальнейшем нагружении давлением происходит стабилизация процесса деформирования панелей – диаграммы « $\bar{q} - \bar{u}$ » сливаются (рис. 4, г – д). На неустойчивых участках диаграмм между верхней $\bar{q}_{кр}^e$ и нижней $\bar{q}_{кр}^n$ критическими нагрузками для панели ($K = 48$) при действии только давления определены точки ветвления «•» и слияния «◦» ветвей решений. Формы деформирования панелей ($K = 32$ и $K = 48$) для всех вариантов нагружения однотипны и отвечают характеру деформирования соответственно пологой и непологой панелей (рис. 2, б, в).

2. Рассмотрена пологая панель ($K = 32$), ослабленная с внутренней стороны четырьмя перекрестными каналами одинаковых размеров (длиной a , шириной $b_k = 2h$ и глубиной $h_k = 0.3h$). Панель шарнирно оперта по контуру. Исследовано влияние на устойчивость оболочки комбинированного действия температурного и силового нагружения (рис. 3) : 1) действие только давления (используется для сравнения); 2) предварительный нагрев на $T = 40^\circ\text{C}$ с последующим действием давления при зафиксированном температурном поле; 3) одновременное действие давления и нагрева до верхней критической точки 1-го варианта $\bar{q}_{кр}^{e0}$;

4) тоже при нагреве до верхней критической точки 2-го варианта $\bar{q}_{кр}^{e1}$. На неустойчивых участках диаграмм « $\bar{q} - \bar{u}$ » определены точки ветвления «•» и слияния «◦» ветвей решений. Во всех вариантах с нагревом величина $\bar{q}_{кр}^e$ возросла по отношению к ненагретой панели соответственно на 17,7; 68,3 и 71,4%. При одновременном действии нагрева и давления (3-ий вариант) $\bar{q}_{кр}^e$ увеличилось на 43,0% по сравнению с их последовательным действием (2-ой вариант). При этом величина $\bar{q}_{кр}^H$ возросла в 12 раз. Приведенные эффекты связаны с повышением жесткости оболочки при нагреве.

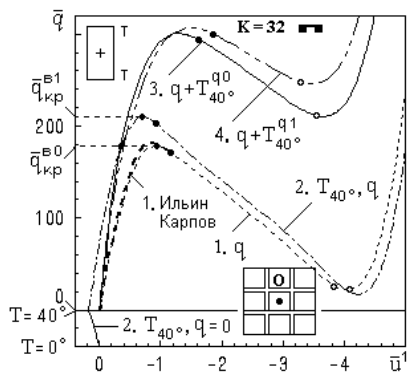


Рис. 3

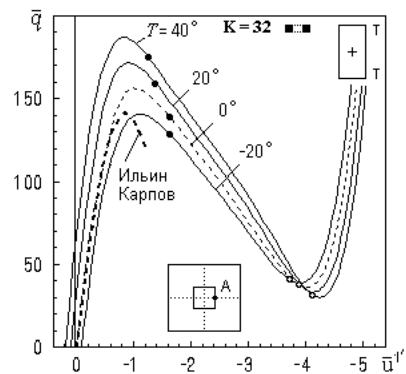


Рис. 4

3. Влияние на потерю устойчивости оболочки комбинированного действия предварительного равномерного нагрева разной интенсивности с дальнейшим нагружением давлением исследовано на примере панели ($K = 32$), имеющей квадратное центральное отверстие шириной $b_o = 12h$ (рис. 4). Рассмотрено четыре варианта предварительного нагрева: на $T = -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ\text{C}$. Последовательное повышение температуры предварительного нагрева оболочки с шагом 20°C (от -20°C до $+40^\circ\text{C}$) приводит к соответствующему равномерному увеличению величины верхней критической нагрузки $\bar{q}_{кр}^e$ на 11,2, 10,8, 10,9% и равномерному уменьшению величины нижней критической нагрузки $\bar{q}_{кр}^H$ на 6,7, 7,4,

7.9%. НДС оболочки при этом качественно не меняется. При действии только давления величина $\bar{q}_{кр}^g$ отличается от решения для однородной гладкой панели на – 19,5%.

Заключение:

Разработан на базе метода конечных элементов метод исследования тонкостенных оболочечных конструкций, который основан на использовании для всех конструктивных элементов неоднородной оболочки геометрически нелинейных соотношений пространственной теории термоупругости с учетом всех нелинейных членов, компонент тензоров деформаций и напряжений. Применена моментная схема конечных элементов, которая распространена на задачи нелинейного термоупругого деформирования тонких неоднородных оболочек.

На базе универсального пространственного КЭ разработана единая расчетная модель, учитывающая многослойную структуру материала и геометрические особенности конструктивных элементов неоднородной оболочки: обшивку переменной толщины, ребра и накладки, выемки и каналы, отверстия и изломы срединной поверхности. Методика распространена на использование в слоях КЭ традиционных и композитных материалов.

Построен эффективный шаговый алгоритм решения задач нелинейного деформирования, устойчивости и закритического поведения тонких неоднородных оболочек при действии термосиловых нагрузок.

Исследовано влияние разных комбинаций термосилового нагружения на устойчивость и закритическое поведение пологих сферических панелей с ребрами, каналами и отверстием.

Литература

1. Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей Н.А. Нелинейное деформирование и устойчивость упругих оболочек неоднородной структуры: Модели, методы, алгоритмы, малоизученные и новые задачи. – М.: КРАСАНД, 2013. – 336 с.
2. Соловей М.О. Модифікований просторовий скінчений елемент для моделювання тонких неоднорідних оболонок // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2006. – Вип. 80. – С. 96-113.
3. Bazhenov V. A., Solovei N. A. Nonlinear Deformation and Buckling of Elastic Inhomogeneous Shells under Thermomechanical Loads // Inter. Appl. Mech., 2009. – № 9. – Pp. 923-953.

4. Баженов В.А., Соловей Н.А. Нелинейное деформирование и устойчивость упругих неоднородных оболочек при термосиловых нагрузках // Успехи механики. В 6-ти томах / Под. ред. А.Н. Гузя. Том 6 (кн. 2). – К.: Літера ЛТД, 2012. – С. 609-645.

5. Баженов В.А., Соловей Н.А., Кривенко О.П., Мищенко О.А. Моделирование нелинейного деформирования и потери устойчивости упругих неоднородных оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2014. – № 5. – С. 14-33.

6. Соловей М.О., Кривенко О.П., Мищенко О.О., Калашніков О.Б. Врахування характеристик композитного матеріалу в скінченноелементній моделі неоднорідної оболонки // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 172-180.

7. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 431 с.

8. Карпов В.В. Прочность и устойчивость подкрепленных оболочек вращения. Ч.2. Вычислительный эксперимент при статическом механическом воздействии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 248 с.

FINITE-ELEMENT MODELING PROCESSES OF NONLINEAR DEFORMATION AND BUCKLING OF ELASTIC INHOMOGENEOUS THIN-WALLED STRUCTURES UNDER THERMO-MECHANICAL LOADS

V.A. BAZHENOV, O.P. KRIVENKO

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

The paper outlines the fundamentals of the method of solving static problems of geometrically nonlinear deformation and buckling of thin elastic inhomogeneous shells with complex-shaped and structure under thermo-mechanical loads. The method is based on the geometrically nonlinear equations of three-dimensional thermoelasticity and the moment finite-element scheme. Peculiarities of thermoelastic deformation, buckling and post-buckling behavior of thin inhomogeneous shells under thermomechanical loading are analyzed.

KEYWORDS: thin inhomogeneous shell, geometrically nonlinear deformation, buckling, post-buckling behavior, universal solid finite element, thermomechanical loading.



ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Е. М. ЗВЕРЯЕВ, *д.т.н., профессор*
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, МГСУ
zvriaev@mail.ru



Вводится понятие о весовых коэффициентах асимптотических разложений решений систем уравнений и дается методика их определения. Приведены примеры применения итерационных методов к задаче изгиба длинной полосы и движению вязкой жидкости. Метод асимптотического интегрирования и метод простых итераций позволяют построить итерационные процессы так, чтобы образовывалась система

замкнутых уравнений для каждого номера приближения, имеющая механический смысл. Это даёт для медленно меняющихся решений классические уравнения и новые уравнения быстро меняющихся состояний, уточняющие классическую теорию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асимптотика, малый параметр, итерация, балка, жидкость.

Введение. С научной точки зрения существенно, чтобы свойства конструируемых моделей и процессов формулировались отчетливо на рациональной основе. Во многих современных проблемах разумно избегать чрезмерных усложнений, т. к. соответствующие эксперименты и явления, как правило, связаны с разбросом экспериментальных данных, которые вносятся трудно контролируемые различиями в самих объектах изучения. Тем не менее, вопрос о построении уточненных моделей материальных сред с учетом новых и дополнительных свойств и эффектов актуален. Нередко учет малых эффектов, едва уловимых на первоначальной стадии исследования, впоследствии, при более глубоком проникновении в сущность природы явлений, становится основой возникновения развития.

Познание природы и создание различных объектов в технике тесным образом связано с введением обновленных моделей механических систем. Существует множество явлений и соответствующих им актуальных задач, которые можно решать в рамках уже введенных моделей сплошных сред, в теории упругости, теории вязких жидкостей и газов, пластичности и т. д. Переход от элементарных закономерностей в частных опытах к законам общего характера всегда связан с использованием усложненного матема-

тического аппарата, с обобщением представлений о характеристиках явлений. Вопросы построения приближенных теорий стержней, пластин и оболочек из однородных и неоднородных материалов, движения жидкости и газа представляют собой часть общей проблемы построения моделей механики сплошных сред.

Построение моделей всегда связано с принятием ряда гипотез, которые можно рассматривать как схематизированные и концентрированные данные наблюдений и математических опытов. Вопросы явного формулирования и рационального выбора непротиворечивой, минимальной и удобной для проверки системы гипотез требуют с позиций общих методов формулировки системы замкнутых уравнений и краевых условий, задающих модель для исследований. Выявление наиболее удобной системы характерных величин и гипотез для формулировки нужных закономерностей имеет существенное значение с методической точки зрения. Надо также знать системы эквивалентных гипотез и располагаемых возможностей для варьирования систем гипотез в пределах точности постановки задач. В классических простейших случаях эти вопросы имеют тривиальный характер, однако и в этих случаях явные формулировки полезны. В некоторых частных случаях только наличие перечня определяющих параметров вместе с простейшими математическими допущениями (например, о разложении функций состояния в ряды по определяющим параметрам с сохранением только первых членов рядов) позволяет находить вид функциональных зависимостей в уравнениях состояния и в других физических зависимостях. Большая часть удачных способов приближенного решения уравнений основана на идее последовательных приближений и асимптотических разложений по определяющим параметрам: в теории упругости по малому параметру относительной толщины балки, пластины, оболочки, в гидромеханике \square по малости толщины пограничного слоя. Решение задачи ищется путем разложения искомого неизвестного в ряды по соответствующему малому параметру ε . Рассмотрим на примерах основные итерационные методы построения уточненных моделей.

1. Асимптотические разложения решений системы алгебраических уравнений. Решение одного уравнения с одним неизвестным и решение системы уравнений с несколькими неизвестными существенно отличаются. Некоторое различие можно показать на простейших примерах разыскания решения в виде разложений неизвестных по степеням некоторой величины ε (которую для определенности изложения считаем малой) системы алгебраических уравнений второго порядка.

Пример 1. Рассмотрим систему уравнений

$$u + \varepsilon v = b, \quad u - \varepsilon v = 0 \quad (1.1)$$

Приближенное решение которой будем искать, раскладывая неизвестные в ряды вида

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \varepsilon^3 u_3 + \dots, \\ v &= v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \varepsilon^3 v_3 + \dots \end{aligned} \quad (1.2)$$

Примем, что заданная величина b также раскладывается по степеням величины ε

$$b = b_0 + \varepsilon b_1 + \varepsilon^2 b_2 + \dots$$

Подставив разложения в уравнения системы и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях величины ε в левых и правых частях уравнений, получим последовательность систем уравнений для определения коэффициентов разложений неизвестных u, v

$$\begin{aligned} u_0 &= b_0 & u_1 + v_0 &= b_1 & u_2 + v_1 &= b_2 \\ u_0 &= 0 & u_1 - v_0 &= 0 & u_2 - v_1 &= 0 \end{aligned}$$

Первая система противоречива и не позволяет определить искомые величины. Но если выбрать разложение другого вида, взяв вместо (1.2) следующее

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \varepsilon^3 u_3 + \dots, \\ v &= \varepsilon^{-1} (v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \varepsilon^3 v_3 + \dots) \end{aligned} \quad (1.3)$$

то после подстановки в систему (1.1) и приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях ε получим последовательность систем уравнений

$$\begin{aligned} u_0 + v_0 &= b_0 & u_1 + v_1 &= b_1 & u_i + v_i &= b_i & \dots \\ u_0 - v_0 &= 0 & u_1 - v_1 &= 0 & u_i - v_i &= 0 & \dots \end{aligned}$$

позволяющую определить члены разложений неизвестных отдельно для каждого номера i .

Пример 2. Рассмотрим несколько другую систему

$$u + \varepsilon v = b, \quad \varepsilon u - v = 0 \quad (1.4)$$

Решение будем искать в виде разложений неизвестных и заданной правой части по степеням ε

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \dots, \\ v &= v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \dots \\ b &= b_0 + \varepsilon b_1 + \varepsilon^2 b_2 + \dots \end{aligned}$$

Подставив их в систему и приравняв в левых и правых частях уравнений величины при одинаковых степенях ε , получим следующую последовательность систем уравнений

$$\begin{aligned} u_0 &= b_0 & u_1 + v_0 &= b_1 & u_2 + v_1 &= b_2 & u_3 + v_2 &= b_2 & \dots \\ v_0 &= 0 & u_0 - v_1 &= 0 & u_1 - v_2 &= 0 & u_2 - v_3 &= 0 & \dots \end{aligned}$$

Чтобы определить ненулевые члены разложения надо учитывать системы

нулевого и первого приближений.

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \dots, \\ v &= \varepsilon (v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \dots), \\ b &= b_0 + \varepsilon b_1 + \varepsilon^2 b_2 + \dots \end{aligned} \quad (1.5)$$

и подставив их в уравнения (1.4), получим последовательность систем

$$\begin{aligned} u_0 = b_0 & & u_1 = b_1 & & u_2 + v_0 = b_2 & & \dots & & u_i + v_{i-2} = b_i & & \dots, \\ u_0 - v_0 = 0 & & u_1 - v_1 = 0 & & u_2 - v_2 = 0 & & \dots & & u_i - v_i = 0 & & \dots, \end{aligned}$$

в которой для каждого фиксированного номера приближения i порядок системы и число неизвестных совпадают.

В задачах механики сплошных сред использованным выше обозначениям u, v соответствуют дифференциальные операторы с большим числом неизвестных. Поэтому каждое неизвестное должно быть представлено в соответствии с примером, данным разложениями (1.3), (1.5) в виде

$$y_k = \varepsilon^{\alpha_k} (y_0 + \varepsilon y_1 + \varepsilon^2 y_2 + \dots) \quad (1.6)$$

в котором k — число неизвестных. Величину ε^{α_k} будем называть весовым коэффициентом k -ого неизвестного а α_k его показателем, подлежащим определению. В теории упругости искомыми неизвестными являются напряжения, деформации и перемещения, в механике жидкости — напряжения, скорости и гидродинамическое давление. Легко видеть, что в разложениях (1.3), (1.5) величины y_i при $i > 0$ играют второстепенную роль уточнения величины y_0 , тогда как весовой множитель ε^{α_k} определяют не только количественную, но и качественную роль k -ого неизвестного.

Идея использования весовых коэффициентов в теории оболочек, была предложена А.Л. Гольденвейзером [1] и положена в основу метода асимптотического интегрирования. Проблема определения весовых коэффициентов сведена к методу простых итераций в работе [2]. Между методом простых итераций и полуобратным методом Сен-Венана прослеживается прямая связь. Сен-Венаном были рассмотрены в [3] задачи изгиба и кручения длинного стержня, где он пишет «Дело обстоит иначе, если применяют смешанный метод и идут как бы полуобратным, или промежуточным, путем между трудным или невозможным определением перемещений при заданных силах и непосредственным и легким определением сил по перемещениям, предполагаемым заданными. Этот метод состоит в том, что задаются частью перемещений и одновременно частью сил и, соответственно, определяют точным расчетом, какими должны быть другие перемещения и другие силы, убедившись, разумеется, в том, что выбранные данные согласуются между собой. Действуя таким образом, можно встретиться только с доступными для решения интегралами, дающими легко

вычисляемые выражения, и получить полное и точное решение задачи о перемещениях для большого числа частных случаев, которые встречаются на практике или дают как бы пределы, к которым практические данные, вообще говоря, достаточно хорошо приближаются.» Именно таким образом, Сен-Венан выделил из общей задачи нагружения стержня, задав некоторые величины в исходном приближении, задачи кручения и изгиба. Если задаться, как то рекомендует Сен-Венан, частью перемещений и частью сил и вычислить остальные искомые величины, можно через эти последние вычислить ранее заданные величины и, сравнив заданные и вычисленные между собой, сделать вывод о правильности выбора заданных величин. Принимая заданные величины в качестве величин нулевого приближения, обозначив эти же величины после вычисления через остальные как величины первого приближения, приходим к последовательным приближениям. На этом основании будем считать полуобратный метод Сен-Венана нулевым приближением метода последовательных приближений.

В справочнике [4] метод последовательных приближений носит имя Пикара-Линделёфа. Метод в применении к задачам элементарной математики описан в [5]. Изложение связи метода с принципом сжатых отображений и теоремой о неподвижной точке можно найти в любом курсе функционального анализа. С помощью метода простых итераций в работе [6] получена уточненная теория изгиба пластин типа Э. Рейсснера и в работе [7] □ уточненная теория колебаний балки типа С.П. Тимошенко. Выделение в исходных уравнениях малого параметра (или двух [8]) позволило использовать метод простых итераций для установления весовых коэффициентов и вида асимптотических разложений для построения процедуры асимптотического интегрирования.

2. Безразмерные уравнения полосы. Длинную узкую полосу отнесем к декартовой системе координат x^*z^* таким образом, чтобы ось x^* была направлена вдоль полосы, а ось z^* поперек. Таким образом $x^* \in 0, l$; $z^* \in -h, h$. Размерные уравнения плоской задачи теории упругости, описывающие напряженно-деформированное состояние полосы, имеют следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z^*}{\partial z^*} + \frac{\partial \tau_x^*}{\partial x^*} &= 0, & \frac{\partial \sigma_x^*}{\partial x^*} + \frac{\partial \tau_z^*}{\partial z^*} &= 0 \\ \sigma_x^* &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_z), & \tau^* &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma, & \sigma_z^* &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_z + \nu\varepsilon_x), \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w^*}{\partial z^*}, & \varepsilon_x &= \frac{\partial u^*}{\partial x^*}, & \gamma &= \frac{\partial u^*}{\partial z^*} + \frac{\partial w^*}{\partial x^*} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Здесь σ_x^* , σ_z^* – нормальные напряжения, τ^* – касательное напряжение, ε_x , ε_z – компоненты нормальной деформации, γ – сдвиг, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, u , w – перемещения вдоль осей x^* и

z^* соответственно. Звездочками отмечены размерные неизвестные задачи.

На продольных краях полосы под действием нагрузки образуются напряжения, которые зависят от внешней нагрузки следующим образом

$$\sigma_z^* = -q^*, \quad \tau^* = t_+^* \text{ при } z^* = 1, \quad \sigma_z^* = 0 \quad \tau^* = t_-^* \text{ при } z^* = -1 \quad (2.2)$$

Приведем уравнения плоской задачи теории упругости для полосы к безразмерному виду. Введем безразмерные координаты $x = x^*/l$, $z = z^*/h$ безразмерные перемещения $u = u^*/h$, $w = w^*/h$ вдоль осей x^* , z^* соответственно и безразмерные напряжения $\sigma_x = \sigma_x^*/E$, $\sigma_z = \sigma_z^*/E$, $\tau = \tau^*/E$. После подстановки этих выражений в систему (2.1) уравнения приводятся к безразмерному виду

$$\begin{aligned} \varepsilon \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \varepsilon \frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \\ \sigma_x = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_z), \quad \tau = \frac{1}{2(1+\nu)} \gamma, \quad \sigma_z = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_z + \nu \varepsilon_x), \quad (2.3) \\ \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad \varepsilon_x = \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \gamma = \frac{\partial u}{\partial z} + \varepsilon \frac{\partial w}{\partial x}. \end{aligned}$$

Здесь $\varepsilon = h/l$ – малый параметр.

3. Метод нулевых асимптотических разложений. Решение будем искать, раскладывая каждое неизвестное в ряды по малому параметру ε

$$\sigma_x = \sum_{i=0} \varepsilon^i \sigma_{x(i)}, \quad \tau = \sum_{i=0} \varepsilon^i \tau_{(i)}, \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

предполагая, что все величины с индексами имеют асимптотический порядок ε^0 . Поскольку разложение каждого неизвестного начинается с члена с множителем ε^0 , будем их называть нулевыми асимптотическими разложениями.

Подставив разложения в уравнения (2.3), получим следующую последовательность уравнений для определения членов разложений

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{x(i-1)}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{(i)}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{z(i)}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{(i-1)}}{\partial x} = 0 \\ \sigma_{x(i)} = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_{x(i)} + \nu \varepsilon_{z(i)}), \quad \tau_{(i)} = \frac{1}{2(1+\nu)} \gamma_{(i)}, \quad \sigma_{z(i)} = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_{z(i)} + \nu \varepsilon_{x(i)}), \\ \varepsilon_{z(i)} = \frac{\partial w_{(i)}}{\partial z}, \quad \varepsilon_{x(i)} = \frac{\partial u_{(i-1)}}{\partial x}, \quad \gamma_{(i)} = \frac{\partial u_{(i)}}{\partial z} + \frac{\partial w_{(i-1)}}{\partial x} \end{aligned}$$

в которой i □ номер члена в разложении. Если номер отрицателен, его следует положить равным нулю.

Запишем уравнения нулевого приближения при $i = 0$

$$\frac{\partial \tau_{(0)}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{z(0)}}{\partial z} = 0, \quad \sigma_{x(0)} = \frac{\nu}{1-\nu^2} \varepsilon_{z(0)}, \quad \tau_{(0)} = \frac{1}{2(1+\nu)} \gamma_{(0)},$$

$$\sigma_{z(0)} = \frac{1}{1-\nu^2} \varepsilon_{z(0)}, \quad \varepsilon_{z(0)} = \frac{\partial w_{(0)}}{\partial z}, \quad \varepsilon_{x(0)} = 0, \quad \gamma_{(0)} = \frac{\partial u_{(0)}}{\partial z}$$

и первого при $i=1$

$$\frac{\partial \tau_{(1)}}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_{x(0)}}{\partial x}, \quad \frac{\partial \sigma_{z(1)}}{\partial z} = -\frac{\partial \tau_{(0)}}{\partial x}$$

$$\sigma_{x(1)} = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_{x(1)} + \nu \varepsilon_{z(1)}), \quad \tau_{(1)} = \frac{1}{2(1+\nu)} \gamma_{(1)}, \quad \sigma_{z(1)} = \frac{1}{1-\nu^2} (\varepsilon_{z(1)} + \nu \varepsilon_{x(1)}),$$

$$\varepsilon_{z(1)} = \frac{\partial w_{(1)}}{\partial z}, \quad \varepsilon_{x(1)} = \frac{\partial u_{(0)}}{\partial x}, \quad \gamma_{(1)} = \frac{\partial u_{(1)}}{\partial z} = \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x}$$

Из первых двух уравнений систем нулевой и первой итераций получаем

$$\tau_{(0)} = \tau_{(0)}(x), \quad \sigma_{z(0)} = \sigma_{z(0)}(x), \quad \tau_{(1)} = a(x) + b(x)z, \quad \sigma_{z(1)} = c(x) + d(x)z$$

Следовательно, вычисленные в первом приближении напряжения можно записать так

$$\tau = \tau_{(0)} + \varepsilon \tau_{(1)} = \tau_{(0)} + \varepsilon [a(x) + b(x)z],$$

$$\sigma_z = \sigma_{z(0)} + \varepsilon \sigma_{z(1)} = \sigma_{z(0)} + \varepsilon [c(x) + d(x)z]$$

Поправки a, b в этих выражениях излишни и могут быть отброшены.

Потребуем выполнения граничных условий (2.2)

$$\tau|_{z=1} = \tau_0 + \varepsilon b = t_+, \quad \tau|_{z=-1} = \tau_0 - \varepsilon b = t_-$$

$$\sigma_z|_{z=1} = \sigma_{z0} + \varepsilon b = q, \quad \sigma_z|_{z=-1} = \sigma_{z0} - \varepsilon b = 0$$

Откуда получаем $\tau_{(0)}, \varepsilon b, \sigma_{z(0)}, \varepsilon d$

$$\tau_{(0)} = \frac{t_+ + t_-}{2}, \quad \varepsilon b = \frac{t_+ - t_-}{2}, \quad \sigma_{z(0)} = -\frac{q}{2}, \quad \varepsilon d = -\frac{q}{2}$$

и искомые аппроксимации напряжений в первом приближении

$$\tau = \frac{t_+ + t_-}{2} + \frac{t_+ - t_-}{2} z, \quad \sigma_z = -\frac{q}{2} + \frac{q}{2} z,$$

из которых следует, что для получения решения задачи об изгибе надо вычислить еще несколько приближений.

Вполне возможно, что вычисление следующих приближений и приведет к каким-либо осмысливаемым НДС, но такие случаи до настоящего момента неизвестны. Недостатком нулевых методов разложения по малому параметру (или, что то же самое, по поперечной координате) является существенное повышение порядка основных разрешающих систем дифференциальных уравнений, при увеличении количества удерживаемых в разложениях слагаемых, что приводит к необходимости преодоления значи-

тельных математических трудностей при попытке получения решений в высоких приближениях. Это обесценивает прикладное значение таких теорий. Реальные решения получаются при построении нулевого приближения. В этом случае они совпадают с известными интуитивными уравнениями состояния теории балок, пластин и оболочек и иногда дополняют их решениями типа пограничного слоя.

4. Метод асимптотического интегрирования. Поставим задачу по-другому. Подберем вид асимптотических разложений таким образом, чтобы искомое состояние определялось в нулевом приближении. Зададим разложения неизвестных [6, 7], представив каждое в виде суммы медленно меняющейся составляющей и быстро меняющейся. При этом медленно меняющуюся составляющую запишем в виде асимптотического ряда

$$\begin{aligned} w &= \sum_{n=0} \varepsilon^{2n} w_{(n)}^s + \varepsilon^3 w^f, \quad u = \varepsilon \sum_{n=0} \varepsilon^{2n} u_{(n)}^s + \varepsilon^3 u^f, \quad \varepsilon_x^s = \varepsilon^2 \sum_{n=0} \varepsilon^n \varepsilon_{x(n)} + \varepsilon^3 \varepsilon_x^f, \\ \varepsilon_z^s &= \varepsilon^2 \sum_{n=0} \varepsilon^n \varepsilon_{z(n)} + \varepsilon^3 \varepsilon_z^f, \quad \sigma_x^s = \varepsilon^2 \sum_{n=0} \varepsilon^n \sigma_{x(n)} + \varepsilon^3 \sigma_x^f, \\ \tau^s &= \varepsilon^3 \sum_{n=0} \varepsilon^n \tau_{(n)} + \varepsilon^3 \tau^f, \quad \sigma_z^s = \varepsilon^4 \sum_{n=0} \varepsilon^n \sigma_{z(n)} + \varepsilon^3 \sigma_z^f. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Здесь значком s отмечена медленно меняющаяся составляющая решения, а значком f быстро меняющаяся. Подставив выражения (4.1) в исходные уравнения (2.3) и приравнявая в обеих частях равенств медленно меняющиеся и быстро меняющиеся величины по-отдельности, получим семь уравнений для определения медленно меняющихся величин $w_{(n)}^s, u_{(n)}^s,$

$\tau_{(n)}^s, \sigma_{x(n)}^s, \sigma_{z(n)}^s, \varepsilon_{x(n)}^s, \varepsilon_{z(n)}^s$ рекуррентным образом в порядке возрастания n

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_{(n)}^s}{\partial z} &= -\frac{\partial w_{(n)}^s}{\partial x} + 2(1+\nu)\tau_{(n-1)}^s, \quad \frac{\partial \sigma_{z(n)}^s}{\partial z} = -\frac{\partial \tau_{(n)}^s}{\partial x}, \\ \varepsilon_{x(n)}^s &= \frac{\partial u_{(n)}^s}{\partial x}, \quad \sigma_{x(n)}^s = \varepsilon_{x(n)}^s + \nu \sigma_{z(n-1)}^s, \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_{z(n)}^s = (1-\nu^2)\sigma_{z(n-1)}^s - \nu \varepsilon_{x(n)}^s, \quad \frac{\partial w_{(n)}^s}{\partial z} = \varepsilon_{z(n-1)}^s, \quad \frac{\partial \tau_{(n)}^s}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_{x(n)}^s}{\partial x}$$

где величины, имеющие при $n=0$ отрицательные индексы, равны нулю, и семь уравнений для определения быстро меняющихся неизвестных

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^f}{\partial z} &= -\frac{\partial w^f}{\partial \xi} + 2(1+\nu)\tau^f, \quad \frac{\partial \sigma_z^f}{\partial z} = -\frac{\partial \tau^f}{\partial \xi}, \quad \varepsilon_x^f = \frac{\partial u^f}{\partial \xi}, \\ \sigma_x^f &= \varepsilon_x^f + \nu \sigma_z^f, \quad \varepsilon_z^f = (1-\nu^2)\sigma_z^f - \nu \varepsilon_x^f, \quad \frac{\partial w^f}{\partial z} = \varepsilon_z^f, \quad \frac{\partial \tau^f}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_x^f}{\partial \xi} \end{aligned} \quad (4.3)$$

В этих уравнениях произведена замена $\xi = x/\varepsilon$ для того, чтобы дифференцирование по ξ не меняло порядок дифференцируемых величин.

Уравнения нулевого приближения получим, положив в (4.2) $n = 0$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_{(0)}^s}{\partial z} &= -\frac{\partial w_{(0)}^s}{\partial x}, \quad \frac{\partial \sigma_{z(0)}^s}{\partial z} = -\frac{\partial \tau_{(0)}^s}{\partial x}, \quad \varepsilon_{x(0)}^s = \frac{\partial u_{(0)}^s}{\partial x} \\ \sigma_{x(0)}^s &= \varepsilon_{x(0)}^s, \quad \varepsilon_{z(0)}^s = -\nu \varepsilon_{x(0)}^s, \quad \frac{\partial w_{(0)}^s}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{(0)}^s}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_{x(0)}^s}{\partial x} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Запишем выражения для неизвестных, вычисленные в нулевом приближении из уравнений (4.5) путем интегрирования по z в пределах от 0 до z .

$$\begin{aligned} w &= w_0(x), \quad u = -w_0' z + u_0, \quad \varepsilon_x = -w_0'' z + u_0', \quad \sigma_x = -w_0''' z + u_0'' \\ \varepsilon_z &= -\nu(-w_0'' z + u_0'), \quad \tau_0 = w_0''' \frac{z^2}{2} - u_0' z + \tau_0, \quad \sigma_z = -w_0^{IV} \frac{z^3}{6} + u_0'' \frac{z^2}{2} - \tau_0' z + \sigma_{z0} \end{aligned}$$

Произволы интегрирования, являющиеся функциями x , обозначены индексом 0. Штрих означает дифференцирование по координате x . Верхний индекс s здесь опущен для простоты записи.

Быстро меняющаяся часть решения (4.3) описывается обычными уравнениями теории упругости и ее в методе асимптотического интегрирования не удастся записать в простой форме.

Потребуем выполнения граничных условий на длинных сторонах. Полное решение состоит из медленно меняющихся компонент и быстро меняющихся; последние должны удовлетворять однородным условиям. Поэтому условия будем выполнять только за счет медленно меняющихся величин. Подчиним решения (4.5) условиям (2.2), в которых примем для простоты изложения $t_+ = t_- = 0$

$$\begin{aligned} w_0''' \frac{1}{2} - u_0' + \tau_0 &= 0, \quad -w_0^{IV} \frac{1}{6} + u_0'' \frac{1}{2} - \tau_0' + \sigma_{z0} = -\varepsilon^{-4} q && \text{при } z = 1 \\ w_0''' \frac{1}{2} + u_0' + \tau_0 &= 0, \quad w_0^{IV} \frac{1}{6} + u_0'' \frac{1}{2} + \tau_0' + \sigma_{z0} = 0 && \text{при } z = -1 \end{aligned}$$

Здесь использовано обозначение $q = q^*/E$ и принято, что $q \sim \varepsilon^4 w_0$.

Складывая первое уравнение с третьим, второе с четвертым и затем, вычитая их попарно, получим следующие уравнения, которым должны удовлетворять искомые величины

$$w_0''' + 2\tau_0 = 0, \quad u_0' = 0, \quad u_0'' + \sigma_{z0} = -\varepsilon^{-4} q, \quad w_0^{IV} + 6\tau_0 = 3\varepsilon^{-4} q$$

Из первого и четвертого уравнения получаем два уравнения

$$\frac{2}{3} \varepsilon^4 w_0^{IV} = -q, \quad \tau' = \frac{3}{4} q$$

представляющие главную часть теории изгиба полосы (балки) и совпа-

дающие с уравнениями сопротивления материалов. Второе и третье уравнения описывают растяжение-сжатие полосы.

Изложенное позволяет заключить, что метод асимптотического интегрирования позволяет получить итерационный процесс, в котором уравнения для каждого приближения образуют замкнутую систему, позволяющую, кроме того выполнить все граничные условия в нулевом приближении. Слабым местом этого подхода является условие априорного знания асимптотических порядков всех искомых величин и их изменяемости. Следующий метод дает возможность определить асимптотические порядки и изменяемости искомых величин.

5. Метод простых итераций. М. Ван-Дайк [9] формулирует некоторые принципы правильности сделанного выбора асимптотической последовательности, выделяя как наиболее надежный процесс, «в котором асимптотическая последовательность не устанавливается заранее, а определяется \square член за членом \square в ходе решения». Этому условию в полной мере удовлетворяет метод простых итераций.

Уравнения плоской задачи теории упругости (2.1), преобразуем к следующему виду

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial w}{\partial x} + 2(1+\nu)\tau, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial \tau}{\partial x}, \quad \varepsilon_x = \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \sigma_x = \varepsilon_x + \nu\sigma_z, \quad \varepsilon_z = (1-\nu^2)\sigma_z - \nu\varepsilon_x, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_z, \quad \frac{\partial \tau}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Предположим, что поперечные перемещения w и касательные напряжения τ известны. Тогда подставляя w и τ в первое уравнение и τ во второе путем интегрирования по z вычисляем продольное перемещение u и поперечное нормальное напряжение σ_z . Зная u , можно путем дифференцирования по x вычислить продольную деформацию ε_x . С помощью преобразованных соотношений упругости алгебраически вычисляются продольное напряжение σ_x и величина поперечной деформации ε_z . Затем последние уравнения системы позволяют путем прямого интегрирования по z вычислить w и τ . Если функции w и τ являются точным решением системы (5.1), они совпадут с исходными w и τ , взятыми в начале цепочки вычислений. Но, поскольку точные решения задач теории упругости обычно не известны, в качестве исходных величин можно взять некоторые пробные функции w_0, τ_0 и в конце описанной последовательности вычислений получить некоторые величины w_1, τ_1 в первом приближении, сравнив их с исходными w_0, τ_0 . Описанная здесь последовательность вычислений, если считать не принципиальными промежуточные алгебраические вычисления по соотношениям упругости, является

процедурой двукратного применения метода последовательных приближений Пикара.

С целью нахождения приближенного решения примем, что поперечные перемещения и касательные напряжения в нулевом приближении равномерно распределены по высоте полосы, т.е. не зависят от координаты z . В соответствии с этим, положив в первом и втором уравнениях системы (5.1) $w = w_0(x)$, $\tau = \tau_0(x)$ в качестве известных величин нулевого приближения, вычисляем u_0 и σ_{z0} . Затем вычисляем ε_{x0} и через соотношения упругости находим σ_{x0} и ε_{z0} . Подставляя их в два последних уравнения системы, получаем w_1 и τ_1 в первом приближении. Процесс вычисления следующих приближений может быть продолжен. Вычисление искомым неизвестных дает:

$$\begin{aligned} w &= w_0 + v\varepsilon^2 w_0'' \frac{z^2}{2} - (1+v)^2 \varepsilon \tau_0' \frac{z^2}{2} + [(1-v^2)\sigma_{z0} - v\varepsilon u_0'] z \\ u &= -\varepsilon w_0' z + 2(1+v)\tau_0 z + u_0 \\ \tau &= [\varepsilon^3 w_0''' - (2+v)\varepsilon^2 \tau_0''] \frac{z^2}{2} + \tau_0 - (\varepsilon^2 u_0'' + v\varepsilon \sigma_{z0}') z \\ \sigma_z &= -[\varepsilon^4 w_0^{IV} - (2+v)\varepsilon^3 \tau_0'''] \frac{z^3}{6} - \varepsilon \tau_0' z + (\varepsilon^3 u_0''' + v\varepsilon^2 \sigma_{z0}'') \frac{z^2}{2} + \sigma_{z0} \\ \sigma_x &= -\varepsilon^2 w_0'' z + (2+v)\varepsilon \tau_0' z + \varepsilon u_0' + v\sigma_{z0} \end{aligned}$$

Произвольные функции интегрирования u_0 , σ_{z0} зависят только от x .

Выполним граничные условия на длинных сторонах полосы. После подстановки выражений для τ , σ_z напряжений в граничные условия (2.2) получим четыре уравнения на длинных сторонах полосы для определения четырех функций w_0 , τ_0 , u_0 , σ_{z0}

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 u_0'' + v\varepsilon \sigma_{z0}' &= 0, & \varepsilon^3 u_0''' + v\varepsilon^2 \sigma_{z0}'' + 2\sigma_{z0} &= -q \\ \varepsilon^3 w_0''' - (2+v)\varepsilon^2 \tau_0'' + 2\tau_0 &= 0, & \varepsilon^4 w_0^{IV} - (2+v)\varepsilon^3 \tau_0''' + 6\varepsilon \tau_0' &= 3q \end{aligned} \quad (5.2)$$

Первые два уравнения описывающие растяжение-сжатие вдоль осей x, y решаются отдельно от второй системы относительно w_0, τ . Введя

матрицу операторов $\mathbf{A} = \begin{vmatrix} \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} & \Gamma \\ \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} & \Gamma + 4 \end{vmatrix}$, в которой

$$\Gamma = -(2+v)\varepsilon^2 \frac{d^2}{dx^2} + 2 \text{ и векторы } \mathbf{w} = \begin{vmatrix} w_0 \\ \tau_0' \end{vmatrix} \quad \mathbf{q} = \begin{vmatrix} 0 \\ q \end{vmatrix}, \text{ перепишем систему}$$

уравнений в символическом виде $\mathbf{A}\mathbf{w} = \mathbf{q}$. Через обратную матрицу

$$\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{\Delta} \mathbf{B}, \quad \text{где } \mathbf{B} \text{ имеет вид } \mathbf{B} = \begin{pmatrix} \Gamma + 4 & -\Gamma \\ -\varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} & \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} \end{pmatrix} \quad \text{и}$$

$\Delta = (\Gamma + 4)\varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} - \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} \Gamma = 4\varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4}$ \square определитель матрицы \mathbf{A} , придадим системе вид

$$\Delta \mathbf{w} = \mathbf{Bq}.$$

Эта система выглядит так

$$-\frac{2}{3}\varepsilon^4 w_0^{IV} = q - \frac{2+\nu}{2}\varepsilon^2 q'', \quad \left(\frac{4}{3}\varepsilon \tau_0' = q\right)^{IV} \quad (5.3)$$

Выражение в скобках во втором уравнении можно получить проще: продифференцировав первое уравнение по x и вычтя его из второго.

Однородные уравнения (5.3) описывают медленно меняющиеся состояния. Исходя из того, что имеют место соотношения $w_0^{(g)IV} = 0$, $4\tau_0^{(p)'} = 3q$, из второго уравнения (5.2) (или из продифференцированного по x первого) следует выражение $-(2+\nu)\varepsilon^2 \tau_0''' + 2\tau_0' = 0$. Проинтегрировав его и отбросив постоянную интегрирования как уже учтенную уравнением $\tau_0^{(p)'} = 0$, получим уравнение

$$-(2+\nu)\varepsilon^2 \tau_0'' + 2\tau_0 = 0, \quad (5.4)$$

описывающие быстро меняющиеся напряженно-деформированные состояния типа пограничного слоя и служащие для устранения разрывов в точке приложения сосредоточенной силы.

6. Вывод уравнения пограничного слоя методом простых итераций и асимптотического интегрирования. Плоская задача движения несжимаемой вязкой жидкости описывается уравнениями с шестью неизвестными $u, w, \sigma_x, \sigma_z, \tau, p$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} &= \tau, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \\ \frac{1}{\text{Re}} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z} \right) &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \\ \frac{1}{\text{Re}} \left(-\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau}{\partial x} \right) &= \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \\ \sigma_x &= -p + 2 \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \sigma_z = -p + 2 \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Первые четыре уравнения образуют замкнутую систему из четырех уравнений с четырьмя неизвестными $u, w, \sigma_x, \sigma_z, \tau, p$. Найдя решение этой системы, можно вычислить напряжения σ_x, σ_z прямыми действиями.

Предположим, что касательное напряжение τ известно. В этом случае скорости u, w определяются из первых двух уравнений. Подставив теперь известные u, w в правые части второго и третьего уравнений, можем вычислить путем интегрирования величины p, τ (и затем σ_x, σ_y).

Будем разыскивать быстро меняющееся по координате z решение системы (6.1), задавая величины нулевого приближения следующим образом: $p_0 = 0, \tau_0 \sim \varepsilon^0$. Произведем в первых четырех уравнениях системы (6.1) замену $\frac{\partial}{\partial z}$ на $\varepsilon^{-1} \frac{\partial}{\partial \zeta}$, где дифференцирование по переменной ζ имеет нулевой порядок по ε

$$\begin{aligned} \varepsilon^{-1} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{\partial w}{\partial x} &= \tau, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial w}{\partial \zeta} = 0, \\ \frac{1}{\text{Re}} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \tau}{\partial \zeta} \right) &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \varepsilon^{-1} \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \\ \frac{1}{\text{Re}} \left(-\varepsilon^{-1} \frac{\partial p}{\partial \zeta} + \frac{\partial \tau}{\partial x} \right) &= \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \varepsilon^{-1} \frac{\partial w}{\partial \zeta} - \frac{2}{\text{Re}} \varepsilon^{-2} \frac{\partial^2 w}{\partial \zeta^2} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Здесь опущены два последних уравнения системы (6.1) как не принципиальные. Величина $\varepsilon \ll 1$ рассматривается в качестве малого параметра, подлежащего в дальнейшем определению.

Будем искать решение системы (6.2) методом простых итераций. Примем величину $\tau = \tau_0$ за единицу измерения искомых величин. Из системы рассмотрим процесс динамичность которого определяется соотношением стемы, состоящей из первых двух уравнений с двумя неизвестными u_0, w_0 можно определить асимптотические порядки u_0, w_0 относительно τ_0 :

$u_0 \sim \varepsilon \tau_0, w_0 \sim \varepsilon^2 \tau_0$. Дополнительно примем $\frac{1}{\text{Re}} = r \varepsilon^2$, где $r \sim \varepsilon^0$. Рассмотрим процесс динамичность которого определяется соотношением $\frac{\partial}{\partial t} \sim \varepsilon^0$.

Подставим эти величины в правые части двух последних уравнений (6.2)

$$r \left(-\varepsilon^2 \frac{\partial p_0}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial \tau_1}{\partial \zeta} \right) = \frac{\partial u_0}{\partial t} + u_0 \frac{\partial u_0}{\partial x} + w_0 \varepsilon^{-1} \frac{\partial u_0}{\partial \zeta} - 2r \varepsilon^2 \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} \quad (6.3)$$

$\varepsilon \qquad \varepsilon^2 \qquad \varepsilon^2 \qquad \varepsilon^3$

$$r \left(-\varepsilon \frac{\partial p_0}{\partial \zeta} + \varepsilon^2 \frac{\partial \tau_1}{\partial x} \right) = \frac{\partial w_0}{\partial t} + u_0 \frac{\partial w_0}{\partial x} + w_0 \varepsilon^{-1} \frac{\partial w_0}{\partial \zeta} - 2r \frac{\partial^2 w_0}{\partial \zeta^2}$$

и напишем под каждой из величин в правых частях ее асимптотический порядок относительно τ_0 . Оставим в них главные члены

$$r \left(-\varepsilon^2 \frac{\partial p_0}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial \tau_1}{\partial \zeta} \right) = \frac{\partial u_0}{\partial t}, \quad r \left(-\varepsilon \frac{\partial p_0}{\partial \zeta} + \varepsilon^2 \frac{\partial \tau_1}{\partial x} \right) = \frac{\partial w_0}{\partial t} - 2r \frac{\partial^2 w_0}{\partial \zeta^2}$$

Из этих уравнений с учетом асимптотических оценок $u_0 \sim \varepsilon \tau_0$, $w_0 \sim \varepsilon^2 \tau_0$ получаем оценки величин $p_0 \sim \varepsilon \tau_0$ и $\tau_1 \sim \tau_0$. Итак, имея оценки можно искать асимптотическое решение в виде разложения искомых неизвестных в ряды по малому параметру ε

$$u = \varepsilon(u_0 + \varepsilon u_1 + \dots), \quad w = \varepsilon^2(w_0 + \varepsilon w_1 + \dots), \\ \tau = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \dots, \quad p = \varepsilon(p_0 + \varepsilon p_1 + \dots)$$

Подставив ряды в уравнения (6.2), получим для величин нулевого приближения уравнения

$$\frac{\partial u_0}{\partial \zeta} + \frac{\partial w_0}{\partial x} = \tau, \quad \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial w_0}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial \tau}{\partial \zeta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_0}{\partial t}, \\ -\frac{\partial p_0}{\partial \zeta} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = \frac{1}{r} \frac{\partial w_0}{\partial t} - 2 \frac{\partial^2 w_0}{\partial \zeta^2} \quad (6.4)$$

Здесь величина без индекса определяется суммой $\tau = \sum_{n=0} \tau_n$. Первые три уравнения могут быть сведены к одному разрешающему уравнению $\frac{\partial^2 u_0}{\partial \zeta^2} - \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_0}{\partial t}$. Определив из него u_0 , можно вычислить w_0 из второго уравнения системы (6.3) и τ из третьего. Четвертое уравнение позволяет вычислить p_0 . Таким образом, уравнения (6.3) являются уравнениями динамического пограничного слоя.

Рассмотрим случай стационарного течения, которому соответствует $\frac{\partial}{\partial t} = 0$. Оставив в правых частях системы (6.3) главные члены

$$r \left(-\varepsilon^2 \frac{\partial p_0}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial \tau_1}{\partial \zeta} \right) = u_0 \frac{\partial u_0}{\partial x} + w_0 \frac{\partial u_0}{\partial \zeta}, \quad -\varepsilon \frac{\partial p_0}{\partial \zeta} + \varepsilon^2 \frac{\partial \tau_1}{\partial x} = 2 \frac{\partial^2 w_0}{\partial \zeta^2}$$

получаем оценки искомых величин: $p_0 \sim \varepsilon^2$, $\tau_1 \sim \varepsilon$, которые позволяют искать решения стационарного пограничного слоя в виде такого разложения

$$u = \varepsilon(u_0 + \varepsilon u_1 + \dots), w = \varepsilon^2(w_0 + \varepsilon w_1 + \dots),$$

$$\tau = \tau_0 + \varepsilon \tau_1 + \varepsilon^2 \tau_2 + \dots, p = \varepsilon^2(p_0 + \varepsilon p_1 + \dots)$$

Подставив эти ряды в уравнения (6.2), получим для величин нулевого приближения уравнения

$$\frac{\partial u_0}{\partial \zeta} + \frac{\partial w_0}{\partial x} = \tau_0, \quad \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial w_0}{\partial \zeta} = 0,$$

$$r \frac{\partial \tau_0}{\partial \zeta} = u_0 \frac{\partial u_0}{\partial x} + w_0 \frac{\partial u_0}{\partial \zeta}, \quad \frac{\partial p_0}{\partial \zeta} = -2 \frac{\partial^2 w_0}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial \tau_0}{\partial x}$$

Первые три уравнения образуют замкнутую систему с тремя неизвестными u_0, w_0, τ_0 . Определив их, из последних трех выражений можно вычислить p_0 и затем в случае необходимости остальные неизвестные σ_{10}, σ_{20} . В классической теории пограничного слоя [10] величина p_0 не определяется из уравнений плоской задачи Навье-Стокса, а берется из уравнений гидравлики.

Литература

1. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. М.: Наука. 1976. 512 с.
2. Зверяев Е.М. Декомпозиционные свойства принципа сжатых отображений в теории тонких упругих оболочек // Механика композиционных материалов и конструкций. 1997. Т. 3. №2. С. 3-19.
3. Сен-Венан Б. Мемуар о кручении призм. Мемуар об изгибе призм. М.: ГИФМЛ. 1961. 519 с.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука. 1971. 576с.
5. Виленкин Н.Я. Метод последовательных приближений. М.: Наука. 1963. 108 с.
6. Зверяев Е.М. Анализ гипотез, используемых при построении теории балок и плит // ПММ. 2003. Т. 67. Вып. 3. С.472-481.
7. Зверяев Е.М., Макаров Г.И. Общий метод построения теорий типа Тимошенко // ПММ. 2008. Т. 72. Вып. 2. С.308-321.
8. Зверяев Е.М., Макаров Г.И. Оценка погрешности уравнений теории пологих оболочек // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 4. С. 38-42.
9. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М.: Мир. 1967. 311 с.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука. 1974. 712 с.

References

1. *Goldenveyzer A.L.* Teoriya uprugih tonkih obolochek. M.: Nauka. 1976. 512 s.
2. *Zveryayev Ye.M.* Dekompozitsionnyie svoystva printsipa szhatyih otobrazheniy v teorii tonkih uprugih obolochek //Mehanika kompozitsionnyih materialov i konstruksiy. 1997. T. 3. #2. S. 3-19.
3. *Sen-Venan B.* Mémoire sur la torsion des prismes, Avec des considérations sur leur flexion, etc. □ Mémoires presentes par divers savants a l'Académie des sciences. t. 14, 1856. Mémoire sur la flexion des prismes, etc. □ Journal de mathématiques pures et appliquées, publié par J. Liouville, 2^{me} série, t. 1, 1856.
4. *Kamke E.* Spravochnik po obyiknovennym differentsialnyim uravneniyam. M.: Nauka. 1971. 576s.
5. *Vilenkin N.Ya.* Metod posledovatelnyih priblizheniy. M.: Nauka. 1963. 108 s.
6. *Zveryayev Ye.M.* Analysis of hypotheses used when constructing of the theory of beams and plates // Prikl. Mat. Mekh. 2003. V. 67. No. 3. P. 472-81.
7. *Zveryayev Ye.M., Makarov G.I.* A general method for constructing Timoshenko-type theories // Prikl. Mat. Mekh. 2008. V. 72. No. 2. 2. P. 197-207.
8. *Zveryayev Ye.M., Makarov G.I.* Otsenka pogreshnosti uravneniy teorii pologih obolochek // Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzheniy. 2013. # 4. S. 38-42.
9. *Van-Dyke Milton.* Perturbation methods in fluid mechanics. New-York – London. Academic press. 1964. 143 p.
10. *Schlichting H.* Boundary layer theory. Seventh edition. McGraw-Hill. 1979. 817 p.

ITERATION METHODS FOR THE CONTINUUM MECHANICS

Ye. M. ZVERYAYEV

*Keldysh Institute of Applied Mathematics
Moscow State Civil Engineering University*

A weighting coefficients notion is introduced for asymptotic expansions of equation system solutions and the method for their determination is given. The examples of the application of iterative methods to the problems of the long strip bending and to the viscous liquid movement are given. The asymptotic integration method and the simple iteration one allow us to construct iterative processes so as to form a having mechanical sense system of closed equations for the each approximation. This gives the classical equation for the slowly varying solutions and rapidly changing equations specifying the classical theory.

KEYWORDS: asymptotic, small parameter, iteration, bar, liquid.



ON THE CO-ROTATIONAL BEAM ELEMENT FOR STABILITY ANALYSIS OF PLANE FRAMES WITH LARGE DISPLACEMENTS

PETER JAN PAHL *Prof. Dr. Dr.h.c.mult.*
Technische Universität Berlin
pahl@tu-berlin.de

Steel spatial framed structures are used extensively in modern construction. Due to their light weight and large spans these structures are often undergoing large displacements. Stability of space frames is a matter of paramount importance. However, computer methods for stability analysis of large space frames still do not provide reliable support to practicing engineers. This paper presents one of the methods used in the modern software products for the nonlinear stability analysis and investigates its possibilities and limitations.

KEYWORDS: space frames, nonlinear stability analysis, large displacements.



The difference in the behavior of a space frame and a space truss consists of the bending and torsion of the members of the frame, which does not occur in the bars of the truss. This difference is due to the bending and torsional stiffness of the frame members as well as the rigidity of the joints of the frame, which are assumed to transmit both forces and moments without joint deformation.

In the traditional linear method of frame analysis the node displacements and rotations due to stretching, bending and torsion of the members are independent and can be superimposed. The main tasks of the linear analysis of space frames are the formulation of the theory of bending and the theory of torsion of prismatic members. The principal axes of the cross-section of the prismatic members are used to formulate two independent governing equations for bending. The governing equation for torsion accounts for uniform torsion (St. Venant torsion) and torsion due to warping. The shape of a section determines whether the section warps. Warping can cause torsional moments only if it is restrained.

If large displacements and rotations of the members are taken into account, the complexity of space frame analysis increases significantly relative to the complexity of space truss analysis. This increase is due to the change in the direction of the axial displacement, bending displacements and axis of rotation of a section of a member as the location and shape of the member change under load.

The following beam element for the large deflection analysis of plane frames has been developed by M.A.Crisfield using the co-rotational approach

published by C. Oran in [3] and [4]. The derivation is published in [1] and [2].

The notation of Crisfield has been retained wherever possible. Displacements of a member of a frame are shown in Figure 1.

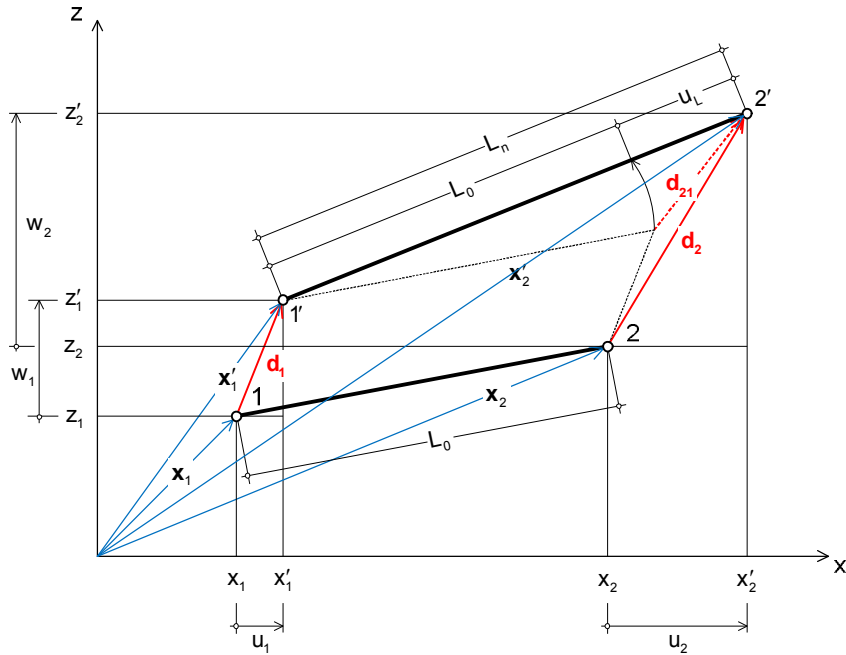


Fig. 1. Displacement of a member

The following notations are used in Figure 1:

global coordinate system	x, z
reference location of the member	$1 - 2$
instant location of the member	$1' - 2'$
reference length of the member	L_0
instant length of the member	L_n
stretching of the member	u_L
coordinates of point 1	x_1, z_1
coordinates of point 2	x_2, z_2
displacement of point 1	u_1, w_1
displacement of point 2	u_2, w_2
coordinates of point 1'	$x'_1 = x_1 + u_1, \quad z'_1 = z_1 + w_1$
coordinates of point 2'	$x'_2 = x_2 + u_2, \quad z'_2 = z_2 + w_2$
x-coordinate increment	$x_{21} = x_2 - x_1$

$$\begin{aligned}
\text{z-coordinate increment} & \quad z_{21} = z_2 - z_1 \\
\text{x-displacement increment} & \quad u_{21} = u_2 - u_1 \\
\text{z-displacement increment} & \quad w_{21} = w_2 - w_1
\end{aligned}$$

$$\text{location vectors of points 1 and 2} \quad \mathbf{x}_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ z_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{location vectors of points 1' and 2'} \quad \mathbf{x}'_1 = \begin{bmatrix} x'_1 \\ z'_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}'_2 = \begin{bmatrix} x'_2 \\ z'_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{displacement vectors of points 1 and 2} \quad \mathbf{d}_1 = \begin{bmatrix} u_1 \\ w_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{d}_2 = \begin{bmatrix} u_2 \\ w_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{increment of location vectors} \quad \mathbf{x}_{12} = \begin{bmatrix} x_{12} \\ z_{12} \end{bmatrix}$$

$$\text{increment of displacement vectors} \quad \mathbf{d}_{12} = \begin{bmatrix} u_{12} \\ w_{12} \end{bmatrix}$$

Stretching of the member

The following formulations describe the member stretching:

extension of the member axis:

$$u_L = L_n - L_0 = \sqrt{(\mathbf{x}_{21} + \mathbf{d}_{21})^T (\mathbf{x}_{21} + \mathbf{d}_{21})} - \sqrt{\mathbf{x}_{21}^T \mathbf{x}_{21}};$$

$$\text{improve numerical conditioning: } u_L = \frac{(L_n - L_0)(L_n + L_0)}{L_n + L_0} = \frac{L_n^2 - L_0^2}{L_n + L_0};$$

$$\text{mid-point formula: } u_L = \frac{2}{L_n + L_0} (\mathbf{x}_{21} + \frac{1}{2} \mathbf{d}_{21})^T \mathbf{d}_{21};$$

$$\text{axial strain: } \varepsilon_L = \frac{u_L}{L_0}; \quad \text{axial force } N = EA \varepsilon_L = EA \frac{u_L}{L_0}, \text{ where}$$

A - area of cross-section; E - modulus of elasticity.

Bending of a member

Bending deformations of a member of a frame are shown in Figure 2.

Rotation of the member is described by the following parameters:

$$\begin{aligned}
\text{reference coordinate system} & \quad x_R, z_R \\
\text{local instant coordinate system} & \quad x_L, z_L \\
\text{rotation of the rigid member axis} & \quad \alpha
\end{aligned}$$

angle from axis x to axis x_L	β
angle from axis x to tangent at $1'$	θ_1
angle from axis x to tangent at $2'$	θ_2
angle from axis x_L to tangent at $1'$	$\theta_{L,1} = \theta_1 - \alpha$
angle from axis x_L to tangent at $2'$	$\theta_{L,2} = \theta_2 - \alpha$

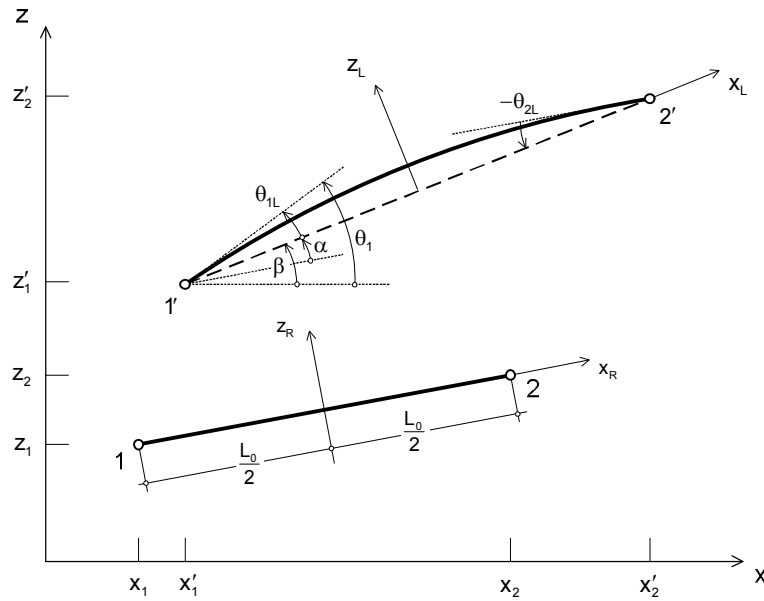


Fig. 2. Bending of a member

The trigonometric ratios of the rotation α of the rigid member axis are:

$$\sin \alpha = \frac{\mathbf{x}_{21} \times \frac{\mathbf{x}_{21} + \mathbf{d}_{21}}{L_n}}{L_0} = \frac{1}{L_0 L_n} (\mathbf{x}_{21} w_{21} - z_{21} u_{21})$$

$$\cos \alpha = \left(\frac{\mathbf{x}_{21}}{L_0} \right)^T \frac{\mathbf{x}_{21} + \mathbf{d}_{21}}{L_n} = \frac{1}{L_0 L_n} (\mathbf{x}_{21}^T \mathbf{x}_{21} + \mathbf{x}_{21}^T \mathbf{d}_{21})$$

Principle of Virtual Work

Virtual displacement of a member in the local coordinate system is shown in Figure 3. The virtual work principle is used to obtain the global system load vector. From Figure 3 trigonometric ratios of slope β of the member:

$$s := \sin \beta = \frac{z'_{21}}{L_n} = \frac{z_{21} + w_{21}}{L_n}$$

$$c := \cos \beta = \frac{x'_{21}}{L_n} = \frac{x_{21} + u_{21}}{L_n}$$

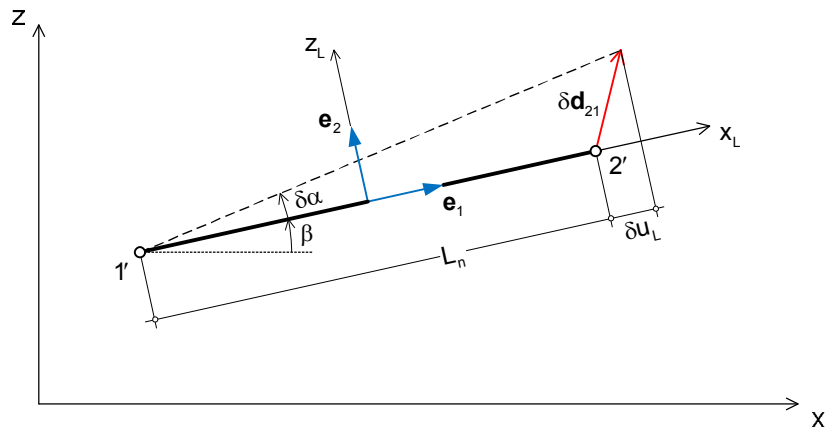


Fig. 3. Virtual local displacement of a member

base vectors of the local coordinate system: $\mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} c \\ s \end{bmatrix}, \mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} -s \\ c \end{bmatrix}$

displacement increment: $\mathbf{d}_{21} = \frac{1}{L_n} \begin{bmatrix} x'_{21} \\ z'_{21} \end{bmatrix}$

stretching of the member axis: $u_L = \mathbf{e}_1^T \mathbf{d}_{21}$

variation of stretching: $\delta u_L = \mathbf{e}_1^T \delta \mathbf{d}_{21}$

variation of the instant location vectors: $\delta x'_{21} = \delta u_2 - \delta u_1$

$\delta z'_{21} = \delta w_2 - \delta w_1$

global displacement vector of a member:

$$\mathbf{p}^T := \begin{bmatrix} u_1 & w_1 & \theta_1 & u_2 & w_2 & \theta_2 \end{bmatrix}$$

variation of stretching becomes:

$$\delta u_L = \mathbf{r}^T \delta \mathbf{p}$$

where $\mathbf{r}^T := \begin{bmatrix} -c & -s & 0 & c & s & 0 \end{bmatrix}$

rotation of the rigid member axis:

$$\alpha = \frac{1}{L_n} \mathbf{e}_2^T \delta \mathbf{d}_{21}$$

variation of rigid axis rotation:

$$\delta\alpha = \frac{1}{L_n} \mathbf{z}^T \delta\mathbf{p}$$

variation of the local rotation: $\delta\theta_L = \frac{\delta\theta_{L1}}{\delta\theta_{L2}} = \frac{\delta\theta_1 - \delta\alpha}{\delta\theta_2 - \delta\alpha} = \mathbf{A}^T \delta\mathbf{p}$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \frac{1}{L_n} \begin{bmatrix} \mathbf{z}^T \\ \mathbf{z}^T \end{bmatrix}$$

variation of stretching and rotation:

$$\delta\mathbf{p}_L = \mathbf{B} \delta\mathbf{p}$$

$$\begin{bmatrix} \delta u_L \\ \delta\theta_{L1} \\ \delta\theta_{L2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c & -s & 0 & c & s & 0 \\ \frac{s}{L_n} & \frac{-c}{L_n} & 1 & \frac{-s}{L_n} & \frac{c}{L_n} & 0 \\ \frac{s}{L_n} & \frac{-c}{L_n} & 0 & \frac{-s}{L_n} & \frac{c}{L_n} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u_1 \\ \delta w_1 \\ \delta\theta_1 \\ \delta u_2 \\ \delta w_2 \\ \delta\theta_2 \end{bmatrix}$$

The moments acting on the member at its ends are assumed to be equal to those derived by conventional small displacement beam theory:

$$\begin{bmatrix} \bar{M}_1 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix} = \frac{2EJ}{L_0} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{L1} \\ \theta_{L2} \end{bmatrix}$$

The virtual work by the member end forces and virtual displacement in the global and in the local coordinate system is the same:

$$V_i = \delta\mathbf{p}^T \mathbf{q}_i = \delta\mathbf{p}_L^T \mathbf{q}_{Li} = \delta\mathbf{p}^T \mathbf{B}^T \mathbf{q}_{Li}$$

$$\mathbf{q}_{Li} = \begin{bmatrix} N \\ \bar{M}_1 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix}$$

\mathbf{p} member displacement vector referred to global coordinate system

\mathbf{q}_i internal forces referred to the global coordinate system

Because expression for virtual work is valid for arbitrary virtual displacements $\delta\mathbf{p}$:

$$\mathbf{q}_i = \mathbf{B}^T \mathbf{q}_{Li}$$

Tangent Stiffness Matrix

$$\delta\mathbf{q}_{Li} = \frac{E}{L_0} \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & 4J & 2J \\ 0 & 2J & 4J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u_L \\ \delta\theta_{L1} \\ \delta\theta_{L2} \end{bmatrix} := \mathbf{C}_L \delta\mathbf{p}_L = \mathbf{C}_L \mathbf{B} \delta\mathbf{p}$$

$$\delta\mathbf{q}_i = \mathbf{B}^T \delta\mathbf{q}_{Li} + N \delta\mathbf{B}_1 + \bar{M}_1 \delta\mathbf{B}_2 + \bar{M}_2 \delta\mathbf{B}_3$$

$$\delta \mathbf{B}_1 = \frac{1}{L_n} \mathbf{z} \mathbf{z}^T \delta \mathbf{p}$$

$$\delta \mathbf{B}_2 = \frac{1}{L_n} \mathbf{r} \left(\frac{1}{L_n} \mathbf{z}^T \delta \mathbf{p} \right) + \frac{1}{L_n^2} \mathbf{z} (\mathbf{r}^T \mathbf{p})$$

$$\delta \mathbf{B}_2 = \delta \mathbf{B}_3 = \frac{1}{L_n^2} (\mathbf{r} \mathbf{z}^T + \mathbf{z} \mathbf{r}^T) \delta \mathbf{p}$$

By the definition of the tangent stiffness matrix of a member:

$$\delta \mathbf{q}_i = \mathbf{K}_t \delta \mathbf{p}$$

$$\mathbf{K}_t := \mathbf{K}_{ii} + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{K}_{ii} = \mathbf{B}^T \mathbf{C}_L \mathbf{B}$$

$$\mathbf{K}_\sigma = \frac{N}{L_n} \mathbf{z} \mathbf{z}^T + \frac{\bar{M}_1 + \bar{M}_2}{L_n^2} (\mathbf{r} \mathbf{z}^T + \mathbf{z} \mathbf{r}^T)$$

Buckling of Euler Columns

In order to test the suitability of the Crisfield element for frame stability analysis, it has been implemented on the Java platform. The buckling load of a straight prismatic column under axial load was determined for three support conditions and a varying number of finite elements per column:

case 1: both ends of the column are free to rotate

case 2: both ends of the column are fixed against rotation

case 3: one end is free to rotate, the other end is fixed

The results of the investigation are shown in the following table. The exact buckling loads for the three cases are 1.000000, 4.000000 and 2.04576. If the column is mapped to a single finite element, the computer model does not predict buckling.

No of elements	case 1: simple supports		case 2: fixed supports		case 3: mixed supports	
	load	% error	load	% error	load	% error
2	1.2163	21.63	4.8709	21.18	2.7816	35.97
3	1.0947	9.47	5.4809	37.02	2.4383	19.19
4	1.0527	5.27	4.8709	21.18	2.2675	10.84
5	1.0337	3.37	4.5548	13.30	2.1874	6.92
6	1.0234	2.34	4.3832	9.58	2.1441	4.81
8	1.0132	1.32	4.2094	5.23	2.1014	2.72
10	1.0086	0.86	4.1387	3.47	2.0817	1.76
12	1.0061	0.61	4.0976	2.44	2.0711	1.24

Conclusions

The investigation shows that a column consisting of a single Crisfield element does not buckle for any of the 3 support conditions. For 2 columns modeled with 2 or more finite elements, the error depends strongly on the support conditions. For a given number of elements, the error is smallest if both ends are free to rotate and largest if both ends are fixed against rotation. The

error in the buckling load equals 5 percent if 4 elements are used for a simple column or 8 elements for a fixed-ended column. The error is reduced to 2 percent if 8 elements are used for a simple column and 14 for a fixed-ended column.

Similar investigations can be performed for a column in space using the Crisfield element for space frames. A single finite element is not capable of predicting flexural buckling, torsional buckling or lateral torsional buckling of the column. These buckling phenomena are due to the influence of the transverse component of the axial stresses in the deformed column on the bending and torsion stress resultants. The transverse component is not taken into account in the local coordinate system in the derivation of the Crisfield element. It is concluded that a physical member of a space frame must be mapped to several Crisfield elements in a computer model for stability analyses of the frame. This mode of modeling is called the multiple element approach.

References

1. *Crisfield, M.A.: Nonlinear finite-element analysis of solids and structures* Volume 1, 1997. New York: Wiley. ISBN 0-471-97059.
2. *Crisfield, M.A.: Nonlinear finite-element analysis of solids and structures* Volume 2, 1997. New York: Wiley. ISBN 0-471-95649.
3. *Oran, C.: Tangent stiffness in space frames. Proc. ASCE, J. Struct. Div.,* 99, St6, 973-985 (1973)
4. *Oran, C.; Kassimali, A.: Large deformations of framed structures under static and dynamic loads. Computers structs.,* 6, 539-547 (1976)
5. *Galishnikova, V; Dunaïski, P.; Pahl, P.: Geometrically Nonlinear Analysis of Plane Trusses and Frames. Sun Press, Stellenbosch, 2009. ISBN 978-1-920109-48-6.*

О КО-РОТАЦИОННОМ БАЛОЧНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАМ ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

П.Я. ПАЛЬ, профессор

Берлинский технический университет

Пространственные рамы широко используются в современном строительстве. Благодаря их малому весу и большому пролетам, эти конструкции часто испытывают большие перемещения. Устойчивость таких конструкций имеет решающее значение. Однако, современные программные комплексы не обеспечивают инженерам-практикам удобного и надежного инструмента для расчета пространственных рам на устойчивость в нелинейной постановке. В данной статье представлен один из методов, лежащий в основе программных продуктов и рассмотрены его возможности и ограничения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пространственные рамы, нелинейный расчет на устойчивость, большие перемещения.



**Российский университет дружбы народов
Peoples' Friendship University of Russia**

**Международная молодежная научная
конференция
«Прочность, ползучесть и разрушение
строительных и машиностроительных
материалов и конструкций»**

Секция 2

*Исследования молодых ученых
в области фундаментальных основ
инженерных наук*

*The investigations of young scientists in the field of
fundamental bases of engineering sciences*

19 ноября 2014 год

USE OF THIN SHELL FOR EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN

Dr. GOVIND PRASAD LAMICHHANE, Arjun Gautam (Nepal)
PhD, Associate Professor
Pokhara University Nepal

Introduction

A thin shell as a: “Three-dimensional spatial structure made up of one or more curved slabs or folded plates whose thicknesses are small compared to their other dimensions. Thin shells are characterized by their three-dimensional load carrying behavior, which is determined by the geometry of their forms, by the manner in which they are supported, and by the nature of the applied load.” Concrete shell structures are able to span large distances with a minimal amount of material. An arch, spanning tens of feet, can be mere inches thick. In maintaining this economy of material, these forms have a light, aesthetic, sculptural appeal.

Thin-walled 3D structures’ designs of type of shells are the most economic designs, and find wide application in the industries: such as chemical engineering, mechanical engineering, instrument making, construction of industrial and civil buildings. It can be realized that shells and combination of shell in themselves relative make ease with high durability. It is most widely used classical types of thin-walled designs such as shell of rotation cylindrical and conic shells, flat and folded shells on which methods of calculation are related to extensive literature. However in practice there is a necessity of use and more complex 3D forms, including 3D designs from crossed sectors of shells of identical or various geometry of complexity.

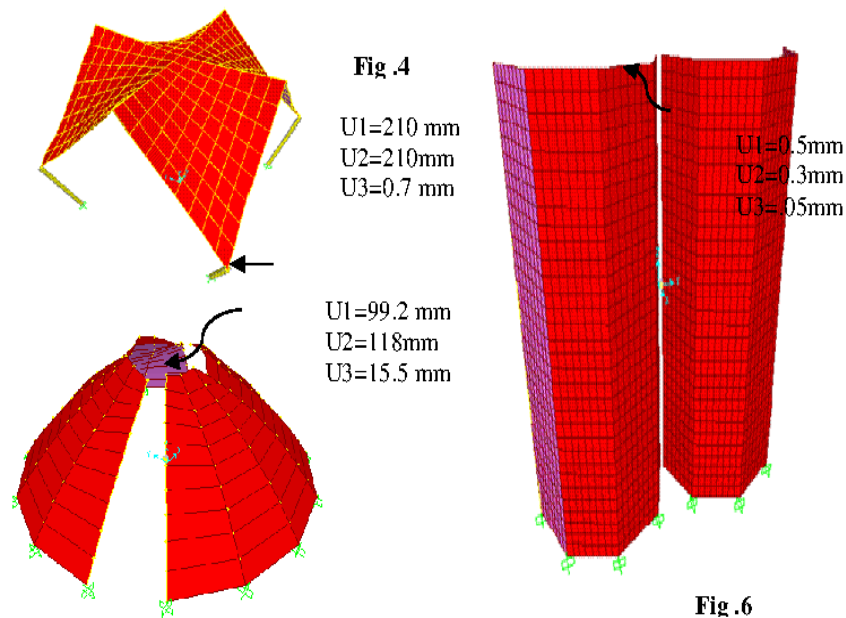
Determinatives at application of this or that form of shells for the various purposes can serve:

- Architectural expressiveness – at a covering of sports complex constructions and public buildings with earthquake resistant.
- Design feature – at a covering of wide-span public and industrial buildings without intermediate support that allows to modernize technological processes with the minimal expenses of work and time.
- A technology requirement – at designing the equipment of the chemical industry, the spiral chamber and a sucking away pipe of water-wheels, etc.
- Influence of shell plays a special role at a choice of the optimum form of an environment in aviation and shipbuilding as the geometry of the case should provide the least resistance of an environment, durability and reliability of a design as a whole.

Methods of calculation of a design of complex geometrical forms are developed insufficiently. Surfaces of interfaced sectors of shells give ample

There are two directions in which the materials for this project could be chosen. The first direction derives from the fact that these structures use very little and light material. They are therefore well suited for third world countries of high seismic zones where resources are limited but manual labor is abundant. The formwork used for these structures is often reusable and could be used to make several structures of the same form. In the case that this technology was developed for third world locations, low technology materials would be used. This would include utilizing cheaply obtained steel reinforcement and a standard cement mortar mix without additives.

The second direction for materials selection would be to explore new technology products. This would include the use of additives in the concrete to increase its strength and therefore reduce its thickness and stresses.



Hyperbolic dome shell shown in Fig 4 of 110mm thick M20 concrete is used .The height of shell is 15 m and span is 20 .0x20.0 m roof supported by four RCC columns with 500x500 size and bottom fixed joint. Similarly in Fig. 5 parabolic dome shell of 50mm thick M20 concrete is used .The height of shell is 12.5 m and radius is 20 .0 m at bottom and 5.0 m at top and with bottom fixed joint. cylindrical shell of 50mm thick M20 thick M20 concrete is used .The height of shell is 12.5 m and radius is 20 .0 m at bottom and 5.0 m at top and with bottom fixed joint. cylindrical shell of 50mm thick M20 concrete is used.

The height of shell is 8.0 m and radius is 6.0m and placed 80 mm apart with bottom fixed joint. In **Fig. 6** cylindrical shell of 50mm thick M20 concrete is used. The height of shell is 8.0 m and radius is 6.0m and placed 80 mm apart with bottom fixed. All modules are analyzed under horizontal force as seismic force giving above deflections which shows allow for high seismic drift . The gap created between shell sectors will play important role to allow maximum drift when seismic forces will act in any direction. The gap can be filled with very low quality engineering material so as to be repaired after collapse after Earthquake resistance. The theme of this report is to allow seismic drift using thin shell structure with consequent gap between shell sectors and can be strengthened by using post tension RCC structure. Analyzing in SAP2000 and program based method the drift results are achieved nearby digits. The concentration of stresses near deflected edge can be overcome by using material having higher rigidity. Thus use of thin shell structures lead economic and earthquake resistant design.

Conclusions

From the investigation it was found that SAP 2000 calculate higher value than theoretical value .The real analysis of shell in SAP 2000 and in program made is in FORTRAN is done so giving result by SAP 2000 is approximate as in FEM . It does not realize following function of curve but in Fortran it realized following function of curve and giving correct result as per theory.SAP 2000 is unable to plot in function of curve in shell structure and it act as segment only. The result of dissipating Energy by shell is realized .The shell structure is used in various position of shell structure with different shapes as single shell ,connecting shell and multi-bay shell with comparison to plate structure of same thickness and properties. The result we found is shell structure has high capacity to dissipate earthquake energy and it is economic and light weight structure for dissipation. Thus modification in drift allows is achieved by using shell during seismic force.

References

1. 'Gable Hyperbolic Paraboloid shell Roof without Edge Beams' by Tamara Jadik and David P. Billington 1989, a journal published by ASCE.
2. A book on 'Design And Analysis Of Shell Structures' by M.Farshad, EMPA. Switzerland.
3. 'A Effect of support movement on the Gable Hyperbolic paraboloid shells' by Sidnev H. Simmonds. a journal published by ASCE 1988.
4. Schnobrich, W. C. (1988). "Umbrella and gable roofs." Hyperbolic paraboloid shells: state of the art: SP-10.]
5. 'Analysis of a Hyperbolic Paraboloid Shell', By Melvin L. Burdorp B, S, Kansas State University, Masters Thesis, 1963.



MAIN TENDENCIES IN TELEVISION TOWER CONSTRUCTION

JÁNOS KATONA¹, *Architect*,
S.L. SHAMBINA², *PhD, Ass. Professor*,
¹*DVI Architecture, Guangzhou, China*
²*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow*

TV towers are some of the tallest man-made structures and, because of their high visibility, they represent an open field for Architecture to experiment and develop new daring solutions. This paper analyses the most significant and inspiring designs produced in the past 100 years and attempts an insight over the future development of antenna structures in the XXI Century.

KEYWORDS: construction, towers, Shukhov, hyperboloid, shell, structural frame, highest structures.

Together with radio masts, TV towers are some of the tallest man-made structures. The terms “masts” and “towers” are not to be confused: while the first are usually held up by stays or “guys”, towers are proper self-supporting or cantilevered structures. This paper deals with the latter ones only. The towers are designed to support aerials for telecommunications and broadcasting and in doing so they not only represent an instrument but also a symbol of the Age of Information inaugurated in the beginning of the XX Century. For this reason architecture has been trying to seize and shape them in the urban context in a process of constant evolution and struggle for new daring solutions.

The origins of TV tower architecture can be traced back to the Russian engineer Vladimir Grigoryevich Shukhov (1853–1939) who pioneered the industrial design of modern tower structures. He introduced new geometric shapes and applications including hyperboloid, gridshell, tensile and diagrid shell structures. Besides tower structures, V.G. Shukhov contributed to significant design advancements for oil reservoirs, pipelines and ships, and patented a number of revolutionary new structural forms. His analytical work on non-Euclidean hyperbolic geometry and his constructions are considered a milestone in this field and still a strong inspiration for contemporary design.

Shukhov designed almost 200 original towers all over the world. Shukhov's goal was to minimize the use of materials, time and labor in the construction of large objects and the same time to strengthen their structural frame so that they could be more resistant, taller and slender. On fig.1 it is shown the first Shukhov's hyperboloid tower built for the 1896 All-Russia Exposition in Nizhny Novgorod: a 37m steel diagrid tower, which was also the first example of hyperboloid structure in the world. The tower was eventually moved to Polibino (Lipetsk Oblast, Russia), where it is still standing.

Consequently his works followed the principles of construction simplification and efficiency whenever possible, given the materials and techniques available at that time.

His most renowned work is probably the Shabolovka Tower (fig. 2), also known as the Shukhov Tower, a 160m high hyperbolic gridshell steel structure built between 1920 and 1922 in Moscow. On fig. 2 it is possible to see the inner view of the grid shell structure of the Shukhov Tower.

The innovative aspect of the tower is revealed in at least two elements: on one hand the lightness of the structure enhances the wind load bearing performance, that is a fundamental attribute for high structures; on the other hand the stacked sections of hyperboloids allow the shape of the tower to taper more at the top with an overall slender effect. Shukhov later proved that increasing the number of stacked sections equals to increasing the tapering of the tower to the point of reaching a conic shape.

Later on in the 20th century experimentation not only followed the path of geometric innovations, but architects started to explore new combinations of materials – mainly concrete and steel – and new shapes, as demonstrated by the work of the Spanish Architect Santiago Calatrava who designed the Montjuic Communications Tower (Barcelona, 1992) (fig. 10), a unique and particularly fascinating example of creativity and technical mastery.



Fig. 1.

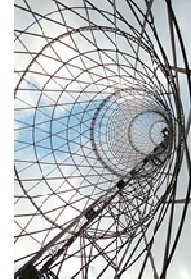


Fig. 2.



Fig.3.
Kobe Port Tower,
108m, Japan,
1962

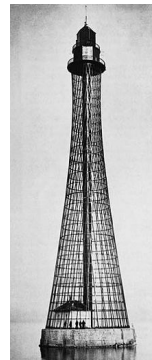


Fig.4.Stanislav-
Adzhvol Ligh-
thouse, 64m
Ukraine, 1911



Fig.5.
Aspire
Tower,300m,
Doha (Qatar), 2006

Their high visibility and the great variety of experimentation focusing on them made TV towers increasingly popular and well known to the point of launching a real international competition for building the tallest one – a title currently held by the Skytree of Tokyo with its 634m steel structure completed



Fig.6
Oriental Pearl Tower,
Shanghai



Fig.7 Canton Tower,
Guangzhou

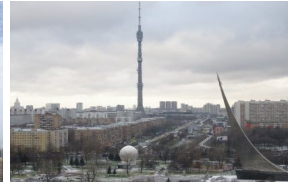


Fig.8
Ostankino Tower
Moscow



Fig.9
AMP Tower
Sydney, Australia



Fig.10
Montjuïc Communica-
tions Tower, Spain

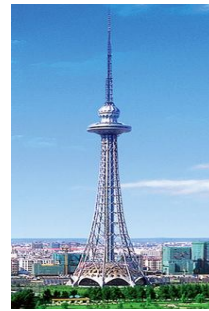


Fig.11
Dragon Tower,
Harbin, China

in 2011.

The East of the world in particular has brought the competition to daringly high levels: five out of the top 10 tallest structures in the world are located in China and eight are in Asia. They are: N.2 Canton Tower (fig. 7) in Guangzhou (600m), N.5 Oriental Pearl Tower (fig. 6) in Shanghai (468m), N.8 Tianjin Radio and Television Tower in Tianjin (415m), N.9 Central Radio and TV Tower in Beijing (405m), N.10 Zhongyuan Tower in Zhengzhou (388m). Leaving out only N.3 CN Tower in Toronto (553) and N.4 Ostankino Tower (fig.8) in Moscow (540 m).

Another interesting trend emerged in the latest years is the extension of TV towers to other purposes than telecommunications: over time TV tower structures have developed to include spaces for public visitors ranging from the most common observation decks and restaurants to museums and entertainment facilities of all kinds. These new functions – in some cases necessary to pay back the financial investments for the construction and the maintenance of such colossal structures - require additional planning in terms of space organization,

safety measures and services management for large crowds of people. The Skytree alone welcomes about 100,000 visitors per day.

The synthesis of these trends - pursuit of innovative and more aesthetic shapes, dynamic applications of hyperboloids, competition for record beating designs, commercialization - can be envisaged in the acclaimed masterpiece of the 2010 Asian Games: the Canton Tower (fig. 7). Located in Guangzhou, PRC, it is the second tallest TV tower and the fourth tallest freestanding structure in the world (following the [Burj Khalifa](#), (829m, Dubai), the Skytree (634m, Tokyo) and the [Abraj Al Bait](#) (601m Mecca)). The Canton Tower project was assigned in 2004 to the Dutch studio Information Based Architecture which won the international competition held by the Guangzhou Government for designing a structure that would represent the city's opening to rapid progress and modernization. Guangzhou is currently the fastest expanding city in the fastest developing region of China, as well as a hub of strategic importance for the whole South East. With the collaboration of the international engineering consulting firm Arup, construction works took place from 2005 to 2010, when the tower was opened to the public. Its structure is made of simple elements – columns and rings – twisted over the central axis to create a tightening “waist” in the central portion of the building.

The twist is possible thanks to two ellipses surfaces – located at the foundation level and at the very top of the tower (450m) above which a 150m antenna is placed – that are rotated opposite to each other. The rings are placed on the inner part of the columns so that the outer view is dominated by vertical elements enhancing the slender effect. The designers' aim was exactly that of realizing a tower that would not look massive or imposing, and that would reflect the dynamic spirit of Guangzhou with asymmetry and grace. At the same time, the rings have a dominating effect from the inside and produce a more enclosed feeling in the 37 accessible floors, while tapering is amplified at the top to further stress the tower twist. As for the inner spaces, the Canton Tower features an extremely broad variety of amenities besides the TV transmission facilities: observatory decks, gardens, exhibition spaces, shops, conference rooms, restaurants, computer gaming spaces, an open-air skywalk, a 4D cinema and even a gravity machine on the top, as well as an underground metro station and shopping center.

Future perspectives. In the panorama of modern TV towers it is actually hard to find truly original and innovative models – a situation only partially justified by the necessity of shaping structures according to the criteria of safety, popularity and tourism. Has TV towers Architecture – still a relatively recent application – already come to a dead-end? Advancements in this field have undoubtedly slowed down in the last decades, but antenna structures have arguably exploited all their potential and what holds back a new generation of accomplishments is only the next leap in material and building technology. This is likely to be focused on the types of materials – such as graphene that is lighter and can be brought to have a higher resistance than steel, the incredibly light

Titanium foam or the artificial spider silk; which with their new material properties will also result in new shapes. Another re-emerging, sustainable material is bamboo – which has better tensile strength properties than steel, renewable (it is the fastest growing plant in the world), flexible and resists to pests. New techniques for joints are being developed (earlier they were lashed or pinned which due to the wet-to-dry changes of the seasons loosened with time); one of them is that of after bolting the joints injecting mortar with a sand, cement and lime ratio of 4:1:1. Also new structural principles will be invented or existing ones will become easier to put into everyday life use - like «tensegrity» (or floating compression), a term invented by the American Architect Buckminster Fuller (1895 – 1983) in 1960 and referring to the synergic effect produced by components in balanced tension and compression to create a mutually supportive ensemble. Tensegrity structures present a real challenge for construction techniques because each element must be first set into place by a network of tension wires, but have proven to be very steady. In 1968, following Fuller's calculations, sculptor Kenneth Snelson produced the first tensegrity large scale tower, the Needle Tower (fig. 12) (18m), which is still standing and displayed at the Hirshhorn Museum and Sculpture Garden in Washington. David Geiger's Olympic Gymnastics Arena in Seoul (1980) was the first of a series of large structures employing hybrid tensegrity structures including the Georgia Dome (1988) and the Kurilpa Bridge in Brisbane, Australia (2011). Open structures relying entirely on tensegrity haven't been attempted yet, but developments in the physics of tensegrity are likely to unlock new perspectives for TV towers including the possibility of building higher, stronger and lighter structures, with an entirely new range of shape variations and a potentially lower cost. The most spectacular TV towers – the results of more than 100 years of architectural developments. They are nowadays located in major cities and constitute essential landmarks of the world's most famous skylines.

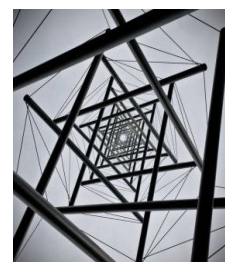


Fig.12
Views of the Needle
Tower:

References

1. Giovannardi Fausto, Vladimir G. Shukhov e la leggerezza dell'acciaio, 2007.
2. Gurstelle William, Building tensegrity models, MAKE vol. 06/2006, p.101-113.
3. Arup - www.arup.com
4. DETAIL (Des Architekturportal) - www.detail-online.com
5. Guangzhou TV Tower Official Website - <http://gzvtwtower.info> (edited by Mark Hemel and Barbara Kuit, designers of the Canton Tower)
6. Hirshhorn Museum, Washington – www.hirshhorn.si.edu
7. IBA (Information Based Architecture) – www.iba-bv.com

8. Shukhov Tower Foundation - www.shukhov.org
9. Structurae - <http://en.structurae.de> (International Database and Gallery of Structures).
10. Motro, R., "Tensegrity Systems: The State of the Art," International Journal of Space Structures, Vol. 7 (1992)
11. Klaus Dunkelberg, IL-31, Bamboo as a building material, 2000
Images: courtesy of DETAIL (Des Architekturportal)

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ БАШЕН

КАТОНА ЯНОШ¹, архитектор,
С.Л. ШАМБИНА², к.т.н., доцент

¹*DVI Architecture, Гуанчжоу, Китай*

²*Российский университет дружбы народов, Москва*

Телебашни являются одними из самых высоких искусственных сооружений. Из-за их высокой видимости, они представляют собой широкое поле для архитектурных экспериментов и разработки смелых конструктивных решений. В работе анализируются наиболее значимые и впечатляющие проекты телевизионных башен, построенные за последние 100 лет, а также делается попытка представить перспективы развития конструкций таких сооружений в XXI веке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, башни, Шухов, гиперболоид, оболочка, несущая рама, высочайшие конструкции.



ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г.П. ГРЯЗНОВА¹, соискатель
С.Л. ШАМБИНА², к.т.н., доц.

¹*Национальный технический университет Украины КПИ, Киев, Украина*

²*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

В статье рассмотрены отдельные вопросы использования композитных материалов, в частности стеклопластиков и углепластиков, для защиты и усиления инженерных сооружений, в частности, при их эксплуатации при высоких нагрузках и в агрессивных средах. Исследуется зависимость физических и механических свойств этих материалов при различных углах расположения армирующих волокон.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композитные материалы, намотка, гомотетия, стеклопластик, углепластик, прочность, несущая способность, коррозионная стойкость.

Композитные материалы (КМ) используются во многих отраслях промышленности: в строительной, авиационной, нефтеперерабатывающей

и других. Композиты состоят из двух основных компонентов - армирующих волокон и матрицы (связующего).

На физические и механические свойства композитов и изделий из них существенно влияют следующие факторы:

- использование волокон и матриц разного типа и различной природы, которые определяют их дальнейшие показатели прочности, долговечности и др.;
- схемы армирования, в том числе послойное формирование стенки изделия;
- вид армирующего материала (нити, ленты, пленки, жгуты);
- использование наполнителей различной текстуры;
- регулирование толщины слоев с различной ориентацией волокон;
- использование вида технологических приёмов производства деталей, узлов и агрегатов (формование, намотка и другие);
- использование волокон разной химической природы (например, углепластики, стеклопластики и другие);
- использование различных видов связующего.

Таким образом, меняя один или несколько из вышеперечисленных факторов можно получать материалы с самыми различными физическими и механическими свойствами.



Рис. 1

Рассмотрим подробнее свойства композитов на примере изделий трубчатой формы. Стеклопластики являются одной из разновидностей композитных материалов, в качестве армирующих элементов выступают стекловолокна, используемые в той или иной форме. Стеклопластики широко применяются для изготовления трубопроводов и различных деталей трубчатой формы для химической, нефтяной, горнодобывающей промышленности металлургических и целлюлозно-бумажных производств, а также в строительстве [1].

В химической промышленности трубы применяют для транспортировки жидких и газообразных химически агрессивных неорганических продуктов. Стоимость таких труб обычно меньше стоимости труб из коррозионностойких материалов, при этом затраты на ремонт и монтаж ниже, что при долгосрочной эксплуатации, что дает существенный экономический эффект.

Также в [6] предлагается использовать стеклопластиковые трубы в качестве несъемной опалубки для железобетонных несущих колонн.

Большое кол-во экспериментов, описанных в этой работе, доказали, что использование стеклопластиковой несъемной опалубки значительно повышает несущую способность железобетонных колонн, а также обеспечивает надежную защиту поверхности бетона от негативного влияния агрессивной наружной среды (в частности от воздействия солей морской воды). На рис. 1 показаны результаты экспериментов, проведенных в [1] по определению несущей способности таких колонн при использовании в качестве наружной несъемной опалубки стеклопластиковых труб с различными параметрами.

Также стеклопластиковые трубы могут использоваться сами по себе в качестве несущих колонн. Они имеют достаточно высокую несущую способность, имеют хороший внешний вид, не подвержены коррозии.

Чаще всего трубы из стеклопластика получают методом намотки [2]. Для этого на вращающуюся цилиндрическую оправку наматывают несколько параллельных друг другу волокон («псевдолента») под малым углом относительно окружного направления и пропускают эти волокна через вращающееся кольцо, ось которого совпадает с осью псевдоленты. На кольцо закреплены шпули с волокнами. При вращении кольца со шпуль разматываются волокна, которые как бы обвивают псевдоленту под малыми углами относительно оси трубы, что обеспечивает прочность трубы в осевом направлении. За счет такого армирования обеспечивается прочность трубы, как в осевом, так и в окружном направлении, а наличие некоторого переплетения слоёв повышается прочность материала к межслоевому сдвигу. Так получились трубы из стеклопластика с косослойной продольно-поперечной намоткой.

Возникает задача изучения и исследования свойств различных КМ и их возможностей для улучшения выходных характеристик процесса производства и эксплуатации изделий на их основе. В частности, меняя угол, под которым наматываются нити, можно получать разные показатели упругих и прочностных механических характеристик

Таблица 1

Данные модуля сдвига при различных углах намотки для разных типов КМ материала.

α	0	15	30	45	60	75	90
<i>КМБ-1</i>	0,01	0,024	0,045	0,057	0,045	0,024	0,01
<i>КМУ-1Л</i>	0,0067	0,016	0,03	0,038	0,03	0,016	0,0067
<i>КМУ-1</i>	0,004	0,0095	0,018	0,025	0,018	0,0095	0,004

В таблице 1 приведены показатели модуля сдвига для разных типов еще

одного композита – углепластика - при различных углах намотки [3].

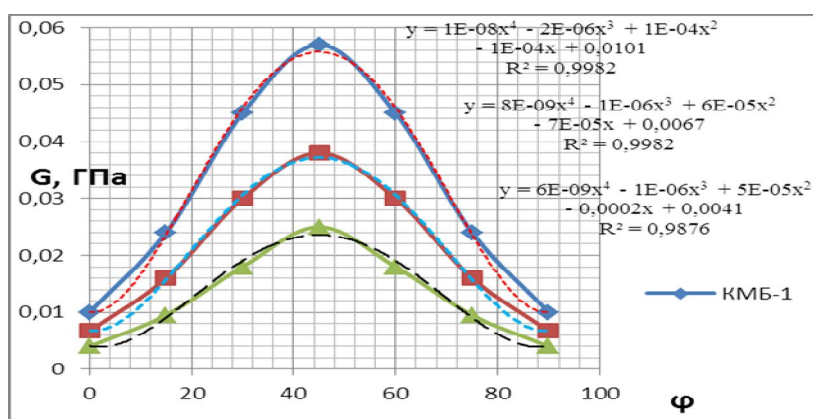


Рис.2. Зависимость модуля G от угла армирования φ для различных типов КМ

Построим графики зависимости модуля сдвига G от угла армирования φ [4, 5]. Проведем полиномиальную аппроксимацию зависимостей и получим формулы трендов.

На рис. 2 показаны данные кривые – полиномы 4 порядка. Применим к данным зависимостям правила гомотетии [6]. Коэффициент преобразования между кривыми КМБ-1 и КМУ-1Л равняется приблизительно 1,5, а между КМБ-1 и КМУ-1 - приблизительно 2,5. Коэффициент гомотетии переменный.

Таким образом, изменяя структуру волокон и подбирая максимальное значение G, можно математически описать желаемую зависимость, используя преобразование гомотетии, и найти оптимальные показатели для данного угла намотки.

Литература

1. *Shamim A. Sheikh, S.A.D. Jaffry, and Ciyan Cui.* Investigation of glass-fibre-reinforced-polymer shells as formwork and reinforcement for concrete columns./ *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 34 (2007), p. 389-402.
2. *Шамбина С.Л.* О прочности стеклопластика с косослойным продольно-поперечным армированием/Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2006, № 2 -М.: Изд-во РУДН, 2006 г. -С. 104- 108.
3. *Крысин В.Н.* Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций /В.Н. Крысин, М.В. Крысин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

4. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы, 2-е издание. -М.: Изд-во Научн. основы и технологии, 2008.-822 с.

5. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы.- С.–Петербург: Изд-во "Профессия", 2006. – 490 с.

6. Александров П.С. Маркушевич А.И. Энциклопедия элементарной математики. Том IV: геометрия/П.С. Александров, А.И. Маркушевич, А.Я. Хинчин. – М.: Гос. изд-во физ.-математической литературы, 1963. –569 с.

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS FOR STRENGTHEN AND PROTECTION OF THE ENGINEERING CONSTRUCTIONS

G.P. GRYASNOVA¹, S.L. SHAMBINA²

¹National Technical University of Ukraine KPI, Kiev, Ukraine

²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

The article considers some issues the use of composite materials, especially fiberglass and carbon fiber reinforced plastics, for the protection and enhancement of engineering structures, in particular, for their operation at high loads and in corrosive environments. The dependence of the physical and mechanical properties of these materials at different angles of the location of the reinforcing fibers is being investigated.

KEYWORDS: composite materials, winding, homothetic, fiberglass, carbon fiber, durability, strength, corrosion resistance.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБА ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОЙ БАЛКИ, ПРИМЕНЕННОЙ В ВИБРАЦИОННОМ ГИРОСКОПЕ

ФАМ АНЬ ТУАН, аспирант*, НГУЕН ТХАНЬ ЗЫОНГ, студент**

Московский Авиационной Институт, г. Москва, Россия

* phamanhtuanlqd@gmail.com, **

nguyenthanhduong.mta@gmail.com

Приводятся материалы разработки микроэлектромеханического (МЭМС) гироскопа в качестве чувствительного элемента в котором используется вибрационная балка из пьезокерамики. Рассмотрена оценка силы Кориолиса на прогиб вибрационной балки, показывающий возможность построения малогабаритного измерительного устройства для применения в системах определения местоположения и других привлекательных устройствах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вибрационный гироскоп, пьезокерамика, сила Кориолиса, прогиб, МЭМС, пьезоэлектрический эффект.

Введение

За последние несколько лет с быстрым развитием высокой технологии, широко распространение по всему миру получили датчики, основанные на микроэлектромеханических системах, так называемых МЭМС. Такие устройства имеют ряд преимуществ: надежность, малогабариты, низкая цена, экономичное энергопотребление, довольно простота их использования и т.д.

В данной статье будет рассмотрен чувствительный элемент МЭМС-вибрационного гироскопа в виде балки, работающий на вибрационном режиме и использующий эффект Кориолиса для преобразования угловой скорости в электрический сигнал на выходе. Способностью этих гироскопов измерять угловые скорости вокруг одной или нескольких осей является естественное дополнение к МЭМС-акселерометрам. Благодаря комбинации акселерометров и гироскопов появляется возможность отследить и зафиксировать движение в трехмерном пространстве.

1. Математическая модель вибрационного гироскопа

Рассматриваемые гироскопы обычно являются твердотельными устройствами с вибрационным чувствительным элементом (ЧЭ) возбуждением управляющим электрическим полем E , который имеет возможность отклоняться. При воздействии эффекта силы Кориолиса, отклонение ЧЭ пропорционально измеряемой угловой скорости по величине и направлению. На рис.1, приведена простейшая структура одноосевого МЭМС-гироскопа. Двусторонняя балка из пьезокерамического материала закреплена в центре.

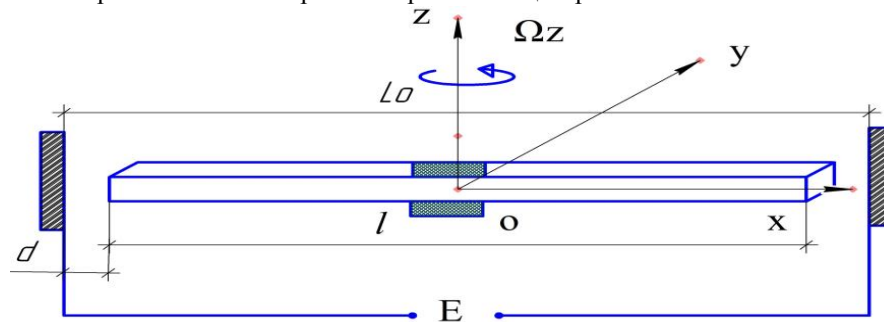


Рис. 1. Модель одноосевого ЧЭ МЭМС-гироскопа

Обратный пьезоэлектрический эффект заключается в изменении размеров пьезоэлектрика - ЧЭ, помещенного в электрическое поле. При приложении к пьезоэлектрику переменного электрического поля E с

частотой f в материале возникают переменные деформации с той же частотой или называемые продольной вибрацией.

2. Сила Кориолиса

ЧЭ выполняется вибрацией вдоль оси OX из за возбуждение управляющим электрическим полем E с учетом пьезоэлектрического эффекта таким образом, что перемещение его конца можно записать в следующем виде:

$$A(t) = A_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

Вращение ЧЭ вокруг оси OZ вызывает силу Кориолиса, направленное вдоль OY . Сила Кориолиса, действующий на элемент dx определяется следующей формулой /2/:

$$dF_c = 2 \cdot dm_x \cdot v_x \cdot \Omega_z \quad (2)$$

где $dm_x = \rho b_m h_m dx$ масса элемента, v_x скорость элемента, Ω_z угловая скорость по оси OZ , вызывающая силу Кориолиса.

Таким образом, сила Кориолиса пропорциональна угловой скорости. Выполнено моделирование этого процесса на компьютере, получим численные значения силы Кориолиса, которые представлены на рисунке 2.

1. Прогиб

Сила Кориолиса является распределенной и симметричной относительно центра. Следовательно, в общем случае, ЧЭ прогибается под воздействием распределенной силы. Получены численные значения отклонения конца ЧЭ при моделировании, которые приведены на рисунке 3.

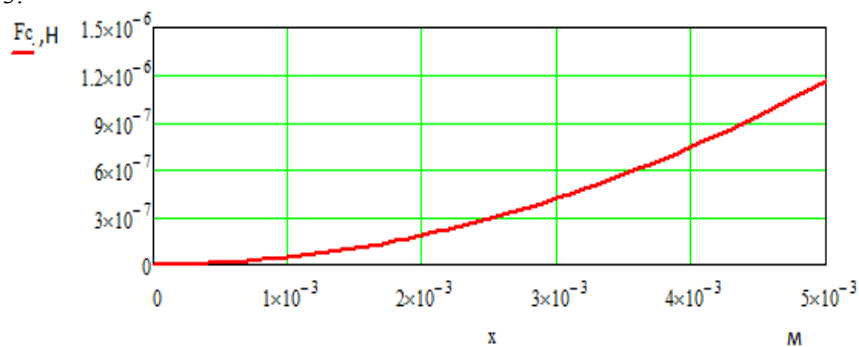


Рис. 2. Сила Кориолиса, действующая на ЧЭ вдоль оси OX

Численные значения отклонения получены в пределах долей микрометров, соответствующих по порядку длины волны. Поэтому, такая модель может применена в создании оптического вибрационного гироскопа.

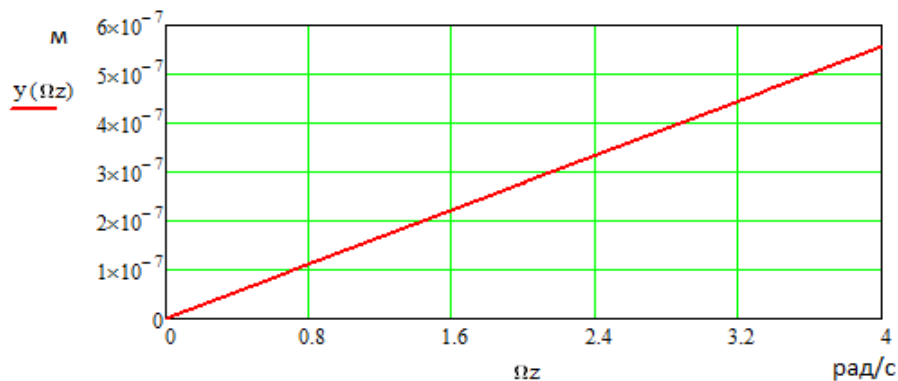


Рис. 3. Зависимость отклонения конца ЧЭ от измеряемой угловой скорости

2. Заключение

- Построенная модель одноосевого ЧЭ МЭМС-гироскопа и выбранный пьезокерамический материал для изготовления ЧЭ, который обеспечивает возникновение продольной вибрации.

- Проведено исследование направления и величины силы Кориолиса.

- Определено отклонение ЧЭ, которое пропорционально измеряемой угловой скорости с учетом воздействия эффекта силы Кориолиса. Их анализ, показано, что можно применить такую модель для исследования и разработки оптического вибрационного гироскопа.

Литература

1. *Браславский Д.А.* Приборы и датчики летательных аппаратов . Изд. «машиностроение», москва 1970. 392стр.
2. *Бусурин В.И, В. А. Можяев, В. М. Шеленков.* Сенсорные технологии, подред В. И. Бусурина, – 2013г.



ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ И ПРОЧНОСТИ ПРЯМЫХ ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

М.И. РЫНКОВСКАЯ, *к.т.н., доцент*
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
marine_step@mail.ru

Прямые геликоидальные оболочки нашли широкое применение в машиностроении и строительстве в конструкциях винтовых конвейеров, шнеков, винтовых лестниц, пандусов и др. Геометрия прямых геликоидов достаточно хорошо изучена, что позволяет активно применять их на практике. Расчет на прочность производится в основном с помощью расчетных программных комплексов, основанных на численных методах, что не всегда позволяет проводить углубленный анализ напряженно-деформированного состояния оболочки. Предлагается один из вариантов аналитического расчета НДС прямого геликоида с разложением решения в тригонометрические ряды, а также готовая программа по расчету прямого геликоида, которая позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние оболочки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геликоидальные оболочки, прямой геликоид, аналитический метод, напряженно-деформированное состояние, винтовой конвейер, пандус.

Геликоидальные оболочки нашли широкое применение в строительстве и машиностроении. Особое распространение получили прямые геликоиды, например, в конструкциях винтовых конвейеров, шнеках, строительных машинах. Классическими примерами применения прямого геликоида в архитектуре и строительстве служат винтовые лестницы и пандусы автостоянок [1]. Реже встречаются элементы зданий в форме прямого геликоида, например, башни. Известны примеры, когда конструкция всего здания или сооружения выполнена в форме прямого геликоида. Самым известным примером такого здания является музей современного искусства имени Гугенхайма в Нью-Йорке (США), построенный еще в 1959 году.

Прямым геликоидом называется винтовая линейчатая поверхность, образующаяся прямой, которая пересекает ось геликоида под прямым углом, вращается с постоянной угловой скоростью вокруг этой оси и одновременно перемещается поступательно с постоянной скоростью вдоль той же оси, причем скорости этих движений пропорциональны. В случае если подъем сопутствует вращению вокруг оси против часовой стрелки, прямой геликоид называется правосторонним, если по часовой стрелке – левосторонним.

В качестве простого примера винтового движения можно привести накручивание гайки на резьбу винта, при котором происходит поступательное и одновременно вращательное движение каждой точки поверхности гайки (по кругу и в то же время вдоль оси винта). Интересным примером получения винтовой линии может служить траектория перемещения точки винта вертолета при его взлете. В области строительства можно привести пример прямого геликоида в виде винтовой лестницы, так как каждая следующая ступень расположена со смещением одновременно по кругу и по высоте и в то же время расположена горизонтально, то есть под прямым углом к вертикальной оси лестницы.

Классификация и формы задания геликоидальных поверхностей, вопросы изгибания винтовых поверхностей и их визуализация (рис. 1) представлены в [2], там же в частности показано, что виток прямого геликоида может быть приближенно изогнут на поверхность катеноида, и его можно отнести к семейству коноидов и называть прямым винтовым коноидом, а также подтверждены выводы Ю. Дини, Д.Л. Рябинова и С.Н. Кривошапко [3].

Впервые прямой геликоид был открыт Ж. Менье в 1776г., а в 1842г. Е. Каталан доказал, что прямой геликоид является единственной линейчатой минимальной поверхностью, то есть поверхностью, у которой средняя кривизна равна нулю во всех точках, или поверхностью отрицательной гауссовой кривизны, или поверхностью наименьшей площади, натянутой на заданный контур. Прямой геликоид также можно назвать винтовым цилиндроидом, а при определенных условиях в него вырождаются такие поверхности как эллиптический геликоид, винтообразная закрученная полоса с прямыми образующими в области пучка, винтообразная предварительно закрученная полоса, трансцендентная аффинно-минимальная поверхность [3].

Уравнения геликоида в параметрической форме

$$x = u \cos v, \quad y = u \sin v, \quad z = cv, \quad (1)$$

где c – смещение образующей AB при повороте ее на 1 рад или отношение скорости поступательного движения к круговой скорости, u , v – криволинейные координаты точки C геликоида – ее расстояние до оси z геликоида и угол поворота образующей AB , отсчитываемой от плоскости zOx .

Существует еще одна параметрическая форма задания поверхности прямого геликоида:

$$x = x(u, v) = cshu \cos v, \quad y = y(u, v) = cshu \sin v, \quad z = z(v) = cv, \quad (2)$$

при которой координатные линии u, v становятся изотермическими.

В явном виде уравнение прямого геликоида записывается в виде

$$z = c \operatorname{arctg} (y/x),$$

где c – смещение образующей прямой при повороте ее на 1 рад.

Векторная форма задания поверхности прямого геликоида имеет вид:

$$r(u, v) = re_r + cve_z,$$

где величина c связана с шагом L винтовой поверхности соотношением $L = 2\pi c$.

Первая квадратичная форма поверхности характеризует внутреннюю геометрию поверхности – длины линий на поверхности, углы между ними, площадь отсеков поверхности, а вторая квадратичная форма поверхности характеризует ее внешнюю геометрию – радиусы нормальной кривизны линий на поверхности. Для прямого геликоида, заданного в параметрической форме (1), коэффициенты квадратичных форм запишутся в виде:

$$A = 1, B^2 = r^2 + c^2, F = 0, \chi = \pi/2, \cos \chi = 0,$$

$$L = 0, M = -c/B, N = 0.$$

Для параметрической формы задания поверхности прямого геликоида (2) коэффициенты квадратичных форм будут иметь вид:

$$A = B = cchu, F = L = N = 0, M = 1/(cchu^2u).$$

$$(u, v) = -d\bar{r}d\bar{n} = Ldu^2 + 2Mdudv + Ndv^2.$$

Как уже было сказано выше, прямой геликоид является минимальной поверхностью, причем единственной линейчатой минимальной поверхностью.

Первыми известными работами, посвященными аналитическому расчету на прочность геликоидов, были статья Д. Тейлора (США, 1933г.) и книга Д.Ю. Панова (Россия, 1937г.). В 1944г. В. Розинг предложил свою формулу для подсчета максимального напряжения, возникающего в поперечном сечении гребного винта в форме прямого геликоида, а в 1945г. вышла работа Г.Биезена, также посвященная расчету гребных винтов. В 1951г. Дж. Ромсомом был предложен способ расчета, основанный на методе Тейлора. В дальнейшем в 50-60-х годах расчетом прямых геликоидов занимались такие инженеры и ученые, как Л.И. Соломон, Дж. Кохен, Е. Рейсснер, В.Г. Рекач, О'Масуна, К.Ф. Черных, позже в 1975г. Е.И. Михайловский и С.Я. Колтунов.

В 1980-х годах на территории бывшего Советского Союза и зарубежных стран появился ряд работ, связанных с геликоидальными

оболочками. Так Я. Пличка (Чехословакия) в 1980г. применил для расчета прямых геликоидов метод сил, а Б.М. Меерсон рассматривал тонкостенную изотропную оболочку, образованную винтовым перемещением плоской кривой относительно прямой оси. Для решения задачи об упруго-пластическом нагружении оболочки им составлена разрешающая система восьми дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных. Е. Мансфилд рассматривал поведение цилиндрической винтовой оболочки под действием сосредоточенной силы и крутящего момента. В 1982г. И.А. Биргер рассматривал пространственное напряженное состояние лопаток турбомашин. В 1984г. С.П. Гавель и Д.И. Шарапова предложили специальную параметризацию, обеспечивающую разделение переменных, и рассмотрели частный случай прямого геликоида.

В. Недельчев в 1989г. рассматривал плитчатую винтовую лестницу с заделкой на одной опоре и с шарнирно подвижным опиранием на другой стороне, и получил формулы, пригодные для практического использования, с помощью которых можно определить изгибающие и крутящие моменты, поперечные и нормальные усилия в любом сечении по длине лестницы.

Таким образом, из анализа истории развития исследований в области аналитических методов расчета геликоидальных оболочек видно, что

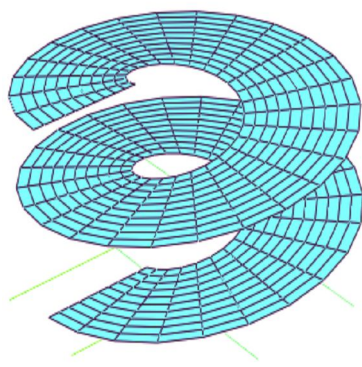


Рис. 1. Прямой геликоид

активное их изучение началось в 50-х годах, потом в 60-х годах прервалось почти на 20 лет, и только в 80-х годах на какое-то время возобновилось. Это можно объяснить тем фактом, что в 70-х годах началось развитие численных методов расчета, которые продолжают активно внедряться и в настоящее время, что обусловлено также постоянным развитием компьютерных технологий, увеличением мощности и доступности вычислительных систем, позволяющих достаточно оперативно проводить громоздкие расчеты. Однако

исследования в области аналитических методов расчета ведутся, и, возможно, смогут составить определенную конкуренцию численным методам, так как позволяют проводить более углубленный анализ.

Примером может служить метод разложения решения в тригонометрические ряды, предложенный еще в 1957г. профессором В.Г. Рекачом в общем виде без численных результатов, и получивший усовершенствование и реализацию в 2013г. в работе [4].

Метод заключается в том, что два известных уравнения Рейсснера $D\nabla^2\nabla^2 u_z \pm \nabla_k^2 \varphi = Z$, $\nabla^2\nabla^2 \varphi \mp Eh\nabla_k^2 u_z = 0$ сводятся к одному уравнению восьмого порядка $\nabla^8(t, v)\Phi(t, v) + p^2\nabla_k^4(t, v)\Phi(t, v) = -e^{4t}Z(t, v)/D$, а их решение раскладывается в тригонометрические ряды Фурье:

$$\Phi(t, v) = \sum_{m=1}^{\infty} \Phi_m(t) \sin mv.$$

При этом необходимо пренебречь квадратом величины шага винта по сравнению с квадратом радиуса геликоида. При $m=0$ получается известное полярно-симметричное решение для круглой пластинки $u_z = A_{01} + A_{02} \ln u + A_{03}u^2 + A_{04}u^2 \ln u$, а при $m \geq 1$ нужно искать корни двух уравнений четвертой степени и получить восемь корней для каждого m -го члена, что дает решение для прямой геликоидальной оболочки. При исследовании данной методики были выявлены некоторые неточности в формулах, которые оказывали существенное влияние на результат решения, а также введен прямой подход к определению тангенциальных перемещений, что подробно рассмотрено в работе [4]. Усовершенствование метода позволило упростить вычисления, получить достаточно компактные формулы, удобные для реализации в MathCAD, и получить результаты, сопоставимые с результатами, полученными численными методами, в то время как в первоначальном виде данная методика приводила к неверным результатам.

Заключение:

Для дальнейшего расширения перспектив применения прямых геликоидов целесообразно совершенствовать аналитические методы расчета, позволяющие проводить углубленный анализ НДС оболочки. Одним из примеров совершенствования можно назвать модернизацию и автоматизацию метода В.Г. Рекача. Полученные результаты дают хорошее соответствие результатам, полученным численными методами, время расчета при этом сокращается. Следующим этапом планируется рассмотрение новых граничных условий и учет динамической нагрузки, что особенно целесообразно в связи с активным применением прямых геликоидов в конструкции автомобильных пандусов.

Литература

1. Рынковская М.И. Применение и расчет геликоидальных оболочек в архитектуре и строительстве. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2012. №4. С. 84-90.
2. Марина Рынковская. Геликоиды в строительстве и машиностроении. Аналитический расчет прямого геликоида: Монография. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 144с.
3. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 560с.
4. Рынковская М.И. Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Рынковская Марина Игоревна. – М., 2013. – 192с.

RESEARCH OF RIGHT HELICOIDAL SHELL GEOMETRY AND STRENGTH

M.I. RYNKOVSKAYA, *PhD., associate professor*
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
marine_step@mail.ru

Right helicoids are widely used in mechanical and civil engineering in such structures as helical conveyor, screw, spiral stairs, ramps etc. The geometry of right shell is well known that's why there are a lot of examples of it's usage. Strength analysis is often carried by computer programs based on the numerical methods but it is not very easy to make a deep analysis of the shell mode of deformation. The analytical method of deflected mode calculation which is based on expansion in to trigonometric rows and the author program which is based on this method and which lets to make an analysis of deflected mode of the shell is presented.

KEYWORDS: helicoidal shells, right helicoid, analytical method, deflected mode, helical conveyor, ramp.



ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ СЦЕПЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ЛИСТОВОГО АРМИРОВАНИЯ С БЕТОНОМ

Е. А. КЛИМОВ, аспирант, старший инженер
ОАО «НИИЭС», г. Москва, Строительный проезд 7а.
klimzero@mail.ru, 8-499-492-67-31

Приводятся результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния и прочности сталежелезобетонных балочных конструкций с внешним листовым армированием при различном сцеплении листовой арматуры с бетоном.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталежелезобетонные балочные конструкции; стержневая арматура; внешнее листовое армирование; анкеровка листовой арматуры; экспериментальные исследования; напряженно-деформированное состояние

Сталежелезобетонные строительные конструкции с использованием внешнего листового армирования находят применение в сооружениях крупных промышленных и энергетических объектов, таких, как атомные станции, здания ГЭС и ТЭС, а также в морском гидротехническом строительстве [1].

Расчет сталежелезобетонных конструкций по нормальным сечениям имеет ряд особенностей: ввиду различного характера сцепления поверхностей стержневой арматуры периодического профиля и гладкого стального листа с бетоном, в зонах образования трещин возможно появление различных величин напряжений в стержневой и листовой арматуре.

Из условия равенства деформаций на участке конструкции с трещинами, можно записать условие:

$$\Psi_{s,o} \cdot \frac{R_o}{E_s} \cdot l_s = \Psi_s \cdot \frac{[\sigma_s]}{E_s} \cdot l_s, \quad (1)$$

где $R_o, [\sigma_s]$ – допускаемые растягивающие напряжения, соответственно, в листовой арматуре и в стержневой арматуре;

E_s – модуль упругости стали;

l_s – расстояние между нормальными трещинами;

$\Psi_{s,o}, \Psi_s$ – коэффициенты, учитывающие неравномерное распределение относительных деформаций, соответственно, для листовой и стержневой арматуры.

Из выражения (1) следует, что:

$$[\sigma_s] = R_0 \cdot \frac{\psi_{s,o}}{\psi_s}, \quad (2)$$

Уравнения равновесия для изгибаемых элементов (рис. 1) принимают вид:

$$M = R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') + A_0 \cdot [R_0 \cdot (a + \delta/2) + \sigma'_0 \cdot (h_0 + \delta/2)] + R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 + x/2); \quad (3)$$

$$R_b \cdot b \cdot x = [\sigma_s] \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + A_0 \cdot (R_0 - \sigma'_0). \quad (4)$$

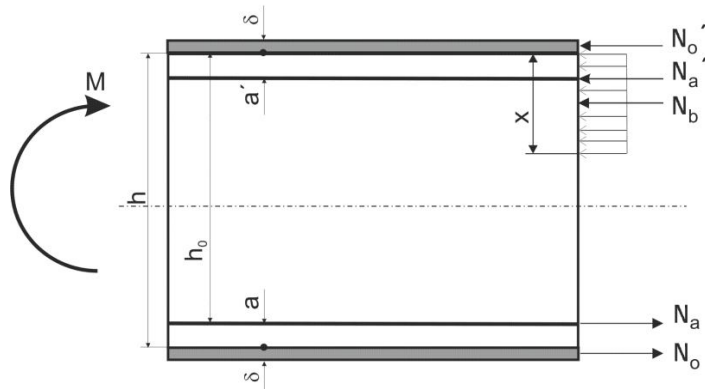


Рис. 1. Схема действия усилий в нормальном сечении сталежелезобетонного элемента с внешним листовым армированием при действии изгибающего момента

Для подтверждения гипотезы о неравномерном распределении напряжений между стержневой и листовой арматурой ввиду различного сцепления с бетоном были проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сталежелезобетонных конструкций с листовым армированием. При разработке программы экспериментальных исследований был учтен опыт исследований железобетонных и сталежелезобетонных конструкций энергетических сооружений, а также данные исследований сцепления стальных элементов с бетоном [2,3,4].

Для этой цели были изготовлены две балки-модели №1 и №2 длиной 125 см, высотой 20 см и шириной 8 см из бетона класса В25. Продольное рабочее армирование представлено одним арматурным стержнем Ø 12 мм класса А500С и внешней листовой арматурой (стальной облицовкой) толщиной $\delta = 2$ мм и шириной 6 см из стали СтЗсп.

В балке №1 листовая арматура прикреплялась стержневыми анкерами диаметром 3 мм и длиной 5 см по всей длине балки. В зоне «чистого изгиба» в балке №2 анкеровка листовой арматуры не производилась.

Балки устанавливались на испытательный стенд горизонтально на двух опорах: одна из опор неподвижная (ножевая), другая подвижная (катковая). Для обеспечения зоны «чистого изгиба» нагрузка, создаваемая гидродомкратом, прикладывалась к балке в двух точках через траверсу (Рис. 2).



Рис. 2. Испытательный стенд

Для определения прогибов на опорах и в пролете устанавливались индикаторы часового типа. Для определения относительных деформаций стержневая и листовая арматура оснащались тензорезисторами с базой 10 мм. В арматурных стержнях для этого была выточена специальная канавка глубиной 2 мм и шириной 4 мм. Тензорезисторы в стержневой и листовой арматуре располагались строго друг над другом. Для контроля приложенной к моделям величины нагрузки (в том числе разрушающей) между траверсой и гидродомкратом был установлен электронный динамометр.

В ходе эксперимента нагрузка прикладывалась ступенями по 10% от разрушающей. При достижении 80% от расчетной разрушающей нагрузки, ступени уменьшались до 5%. При испытаниях регистрировались следующие величины: характер и величина раскрытия трещин; прогибы; относительные деформации; разрушающая нагрузка.

В результате испытаний были получены данные о напряжениях в арматурных стержнях и в листовой арматуре. Напряжения в стержневой арматуре и в стальной облицовке балки №1 различались незначительно (рис.3). В балке №2 (без анкерки листовой арматуры в зоне «чистого изгиба») напряжения в стержневой арматуре значительно превосходили напряжения в стальной облицовке (рис. 4).

Из представленных на рис. 3 и 4 графиков видно, как влияет анкерка стального листа на распределение напряжений между стержневой и листовой арматурой.

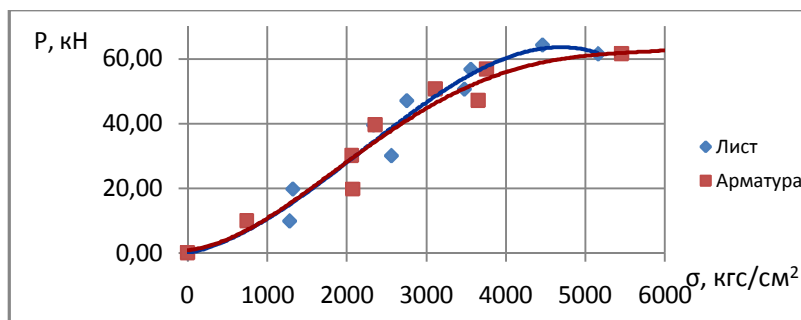


Рис. 3. Напряжения в стержневой (красный) и листовой (синий) арматуре в сечении с трещиной в области тензодатчиков №11 в балке №1 при анкеровке листовой арматуры по всей длине балки

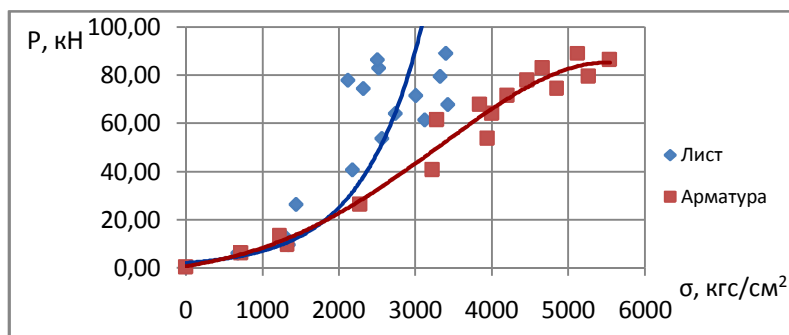


Рис. 4. Напряжения в стержневой (красный) и листовой (синий) арматуре в сечении с трещиной по показаниям тензодатчиков №7 в балке №2 без анкеровки листовой арматуры в зоне «чистого изгиба»

Таким образом, в результате экспериментальных исследований была подтверждена гипотеза о неравномерном распределении напряжений между стержневой и листовой арматурой ввиду различного сцепления с бетоном. Получены картины напряженного состояния стержневой и листовой арматуры сталежелезобетонной конструкции в зависимости от степени анкеровки листовой арматуры в бетоне балочной конструкции.

Литература

1. Воронков Р.В. «Железобетонные конструкции с листовой арматурой» // Л.: Стройиздат, 1975, 145 с.
2. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Нефедов А.В. «Исследования бетонных и железобетонных энергетических сооружений» // Гидротехническое строительство, №8,9, 1999, с. 22-28.

3. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Ляпин О.Б. «Совершенствование железобетонных конструкций энергетических сооружений» // Гидротехническое строительство, №8,9, 1999, с 71-75.

4. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Камнев Н.М. «Экспериментальное обоснование узла распределителя к напорному водоводу здания ГЭС гидроузла Аль Вахда» // Гидротехническое строительство, №6, 1998, с. 52-56.

**INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATE
OF THE COMPOSITE BEAM CONSTRUCTIONS, CONSIDERING
THE ADHESION OF EXTERNAL SHEET REINFORCEMENT
TO CONCRETE**

E.A. KLIMOV

The results of experimental studies of stress-strain state and strength of the composite beam constructions with an external sheet reinforcement with different adhesion of the sheet reinforcement to concrete are presented.

KEYWORDS: composite beam constructions; bar reinforcement; external sheet reinforcement; anchoring of sheet reinforcement; experimental investigations; stress-strain state.



**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОПРИЕМНИКА
ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС И ОСНОВНЫЕ
РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**КАТУНИН А.Н., аспирант
ОАО «НИИЭС», Москва, Россия**

Водоприемник реверсивного типа является основным напорным сооружением действующей Загорской ГАЭС. Выполнен анализ конструктивных особенностей массивного железобетонного сооружения водоприемника. Исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций водоприемника, выполненные на основе конечно-элементных моделей, выявили в ряде случаев недостаточность продольного и поперечного армирования, что может потребовать усиления, а также учета при проектировании аналогичных сооружений. Выполнен анализ данных натурных наблюдений (в том числе осадок и смещений), полученных на основе показаний контрольно-измерительной аппаратуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоприемник Загорской ГАЭС; конструктивные особенности; железобетонные конструкции; продольное и поперечное армирование; натурные наблюдения; контрольно-измерительная аппаратура; осадки и смещения; напряженно-деформированное состояние; конечно-элементные модели.

Водоприёмник Загорской ГАЭС (рис. 1) запроектирован и построен на мягком грунтовом основании в сложных инженерно-геологических усло-

виях строительной площадки [1]. Кроме того, он работает и в сложных гидравлических условиях при конфузорном турбинном и диффузорном насосном режимах течения жидкости.

Реверсивный водоприёмник Загорской ГАЭС решён по схеме руслового здания ГЭС, то есть непосредственно воспринимает напор воды верхнего бассейна. Фундаментную плиту водоприёмника подстилают моренные отложения московского горизонта. В подошве морены на глубине около 30 м залегает 10-ти метровый слой “зелёных” глин с включениями песчаников [2].

Водопроводящая часть водоприёмника в направлении вдоль потока включает:

- входной (выходной) криволинейный консольный участок в виде раструбы длиной 27,5 м с прямоугольным сечением в начале участка, имеющим ширину и высоту соответственно 10,00 и 16,60 м, и с квадратным сечением 7,50×7,50 в конце участка;

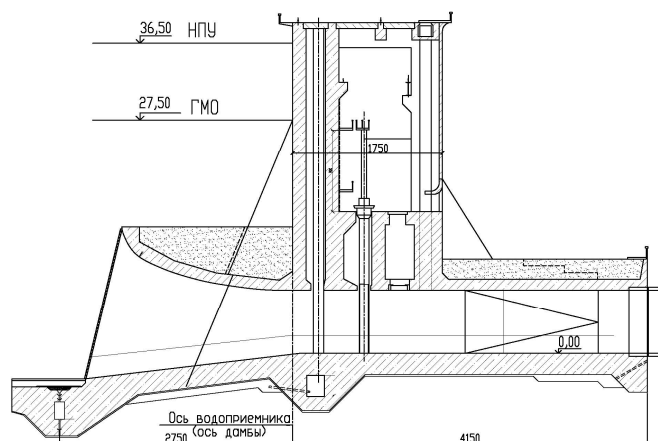


Рис. 1. Схема водоприёмника. Разрез по оси проточного тракта

- входной (выходной) криволинейный консольный участок в виде раструбы длиной 27,5 м с прямоугольным сечением в начале участка, имеющим ширину и высоту соответственно 10,00 и 16,60 м, и с квадратным сечением 7,50×7,50 в конце участка;

- средний прямолинейный участок длиной 20,15 м, имеющий постоянное квадратное сечение размерами 7,50×7,50 м, в пределах которого располагаются пазы ремонтных и ремонтно-аварийных затворов, а над ним - башня управления затворами (машинный зал);

- конечный переходной участок длиной 15,50 м, в пределах которого сечение водопроводящего тракта изменяется от квадратного с размерами

7,50×7,50 м до круглого - диаметром 7,50 м для сопряжения с компенсаторными секциями напорных водоводов.

В направлении поперёк потока водоприёмник включает шесть водопроводящих галерей с расстояниями между осями 12,00 м, а также левобережный и правобережный устои с продолжением в них фундаментной плиты (по всей длине вдоль потока) и машинного зала.

Общие размеры водоприёмника составляют: длина вдоль потока - 69,83...70,37 м (без понура), ширина поперёк потока 102,70 м, включая устои (без подпорных стен второго яруса), высота 48,30 м от нижней грани верхового зуба до гребня башни управления затворами.

Фундаментная плита водоприёмника по длине вдоль потока для увеличения длины контактной фильтрации и повышения сопротивления сдвигу имеет три зуба. Между верховым и центральным зубьями, а также на длине 12 м перед низовым зубом под фундаментной плитой устроен трёхслойный дренажный фильтр толщиной 50 см. В верховом зубе вдоль шва между водоприёмником и понуром устроена “мокрая” потерна, основным назначением которой является контролирование шпонок и пьезометрического уровня в основании водоприёмника. В центральном зубе фундаментной плиты располагается “сухая” потерна. “Мокрая” и “сухая” потерны соединены между собой продольными галереями, расположенными в зубьях, на краях фундаментной плиты ориентированных вдоль потока.

Конструкция водоприёмника – неразрезная. Для уменьшения напряжений, возникающих при сезонном колебании температур, стены здания машинного зала вместе с контрфорсами, выше отметки пола машзала (246,75 м) и его перекрытие, через 24 м надрезаны двумя вилочными швами. С целью снижения температурных растягивающих напряжений, возникающих в бетоне при его остывании после экзотермического разогрева, в строительный период в водоприёмнике в пределах отметок 237,65...246,75 м устраивались два замыкающих блока, расположенные через 24 м. Кроме водоприёмника в состав водоприёмного узла входят двухъярусные подпорные стены, крепление подводящего канала, гидравлический железобетонный понур, компенсаторные секции напорных водоводов. Первый ярус подпорных стен уголкового типа расположен вдоль подводящего канала верхнего бассейна и вдоль трассы водоводов. Второй ярус подпорных стен, преимущественно ячеистого типа, проходит на верхних отметках дамбы верхнего бассейна.

Противофильтрационные устройства водоприёмного узла включают: гидравлический отрезной понур, дренаж под фундаментной плитой, шпунтовые диафрагмы в зоне контакта устоев с дамбами верхнего бассейна и плоские фильтры у сопрягающих стенок второго яруса. Понур по всему контакту с подпорными стенами первого яруса и фундаментной плитой водоприёмника имеет шпонки.

Исследования напряженно-деформированного состояния водоприемника Загорской ГАЭС, выполненные на основе конечно-элементных моделей, подтвержденные данными натурных наблюдений, выявили в ряде случаев недостаточность продольного и поперечного армирования: в низовой зоне фундаментной плиты водоприемника на переходном участке от квадратного к круглому сечению; в низовой грани напорной стены машзала в пределах отметок 23,18...25,34 м; на верхней и нижней грани понура водоприемника; на нижней грани фундаментной плиты.

Натурные наблюдения за фильтрационным режимом и напряженно-деформированным состоянием сооружений водоприемного узла Загорской ГАЭС проводятся на основе установленной контрольно-измерительной аппаратуры.

В настоящее время наблюдения за осадками водоприемника проводятся по 40 высотным, 34 щелемерным маркам и 18 щелемерам.

К концу 2013 г. осадки по маркам 102а, 105а и 108а, расположенным соответственно в левобережной, центральной и правобережной частях “сухой” потерны, достигли 315,0, 304,6 и 308,1 мм. Следует подчеркнуть, что водоприёмник в направлении поперёк потока по линии простираения “сухой” потерны деформируется практически равномерно с тенденцией больших осадок в зонах устоев за счёт зависания на них примыкающих грунтовых дамб ограждения верхнего бассейна, причём меньшая осадка водоприемника в зоне правого устоя объясняется уменьшением здесь объёма дамбы с целью снижения нагрузки на потенциально оползневую южную часть склона.

Значения суммарных осадок марки 108а, установленной в сухой потерне, и марки 200, установленной в фундаментной плите со стороны нижнего бьефа, приведенные к одному и тому же начальному циклу измерения 19.09.1984 г. и равные на дату 10.2013 г., соответственно, 308,1 и 296,2 мм, показывают небольшой наклон в сторону верхнего бьефа.

Значения суммарных осадок марок 136 и 135, установленных на отметке пола машзала, соответственно, со стороны верхнего и нижнего бьефа с левой стороны водоприемника, равные на дату 10.2013 г., соответственно, 64,6 и 65,8 мм, показывают небольшой наклон его в сторону нижнего бьефа. Приращения за период времени с 10.2003 по 10.2013 г. осадок марок №№ 102а, 105а, 108а, установленных в сухой потерне, равные, соответственно, 35,5; 32,1 и 34,9 мм (в среднем 34,2 мм) и марок №№ 200, 131, 132а, установленных на фундаментной плите со стороны нижнего бьефа, равные, соответственно, 35,3; 34,4 и 30,1 мм (в среднем 33,3 мм), показывают небольшой наклон водоприемника в сторону верхнего бьефа. Вероятно, тенденция несколько больших осадок водоприемника со стороны верхнего бьефа, связана с давлением на основание фильтрационного потока, нисходящего в верхнем и восходящего в нижнем бьефе.

Таким образом, можно считать, что перекосы водоприемника в направлении вдоль потока практически отсутствуют, а перемещение в сторону здания ГАЭС – стабилизировалось.

Скорость роста осадок водоприёмника с течением времени значительно уменьшилась. Например, с 1984 по 1989 г. средние годовые осадки составили 30,6 мм, с 1996 по 2001 г. – 5,0 мм, а с 2003 по 2013 г. – 3,7 мм (в том числе с учётом увеличения осадок при водопонижении вокруг котлована здания строящейся Загорской ГАЭС-2).

Наблюдения за горизонтальными перемещениями водоприемника проводятся с помощью светодальномерных измерений расстояний от двух постоянных опорных пунктов, расположенных на правом берегу р. Кунья, до марок и тумб, закреплённых на перекрытии водоприёмника (3 шт.) на низовых контрфорсах башни обслуживания (2 шт.) и низовых подпорных стенках 1-го яруса (5 шт.). За последние 14 лет приращения горизонтальных перемещений водоприемника с учётом погрешностей измерений практически отсутствуют и в среднем составляют около 100 мм.

Выводы:

1. В результате наблюдений за осадками и горизонтальными перемещениями водоприемника можно считать, что перекосы в направлении вдоль потока практически отсутствуют, а перемещение в сторону здания ГАЭС – стабилизировалось. Величина осадки (315,0 мм) не превышает предельно допустимое значение 400 мм.
2. Исследования напряженно-деформированного состояния водоприемника Загорской ГАЭС, выполненные на основе конечно-элементных моделей и подтвержденные данными натурных наблюдений, выявили некие особенности, которые могут потребовать усиления железобетонных конструкций, а также учета при проектировании аналогичных сооружений [3,4,5].

Литература

1. *Технический отчет «О проектировании, строительстве и начале эксплуатации Загорской ГАЭС. Том 1. Основные сооружения и постоянный поселок. Проектирование».* Институт «Гидропроект», М., 1990, 686с.
2. *Серебряников Н.И., Родионов В.Г., Кулешов А.П., Магрук В.И., Ивануцэнко В.С.* Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС. Издательство «НЦ ЭНАС», М., 2000, 355 с.
3. *Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефёдов А.В., Серая О.З., Чуприна Я.Н.* «Разработка схемы рационального армирования фундаментной плиты водоприемника Загорской ГАЭС-2» // Гидротехническое строительство, № 4, 2008, с. 12-16.
4. *Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Ляпин О.Б.* «Совершенствование железобетонных конструкций энергетических сооружений» // Гидротехническое строительство № 8/9, 1999, с. 71-75.

5. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Нефедов А.В. «Исследования бетонных и железобетонных энергетических сооружений»// Гидротехническое строительство, № 8/9, 1999, с. 22-28.

**OPERATING ZAGORSK PUMPED STORAGE STATION INTAKE
STRUCTURE CONSTRUCTION FEATURES AND FIELD STUDIES
BASIC RESULTS**

A.N. KATUNIN

Reverse intake structure is a basic inlet structure of the operating Zagorsk Pumped Storage Plant. A study of construction features of a solid reinforced concrete structure was performed. During the studies of intake reinforced concrete structures strain-stress state performed on the base of finite element models a lack of axial and lateral reinforcement was detected , which may require strengthening, and also should be taken into account when designing similar structures. The analysis of field studies data (including sediments and displacements data) obtained from the responses of control and measuring equipment was performed.

KEYWORDS: Zagorsk Pumped Storage Plant intake structure; construction features; reinforced concrete structures; axial and lateral reinforcement; field studies; control and measuring equipment; sediments and displacements; strain-stress state; finite element models.



**ТИПОВЫЕ СХЕМЫ РАЗРУШЕНИЯ И КРИТЕРИИ
НОРМИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ СБОРНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

П.К. КУЗЬМИН, соискатель,
ООО «Промтехэкспертиза», e-mail: KuzminPK@mail.ru.

Статья содержит результаты обследования автором состояние сборных железобетонных плит покрытий на разных участках дорог после длительного (более 20 лет) срока эксплуатации. Определено влияние на трещиностойкость времени эксплуатации, характер и накопление повреждений после длительного срока воздействия технологических, техногенных, климатических факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожные плиты, трещина, ширина трещины, поверхностный слой, схемы разрушения, критерии оценки.

Характеристика объектов обследования. Цель и задачи.

Анализ напряженно деформированного состояния жестких покрытий относится в основном или к эксплуатируемым участкам взлетно посадочных полос (ВПП) и дорог или к опытным специально построенным. Основное внимание исследователей было сосредоточено на изменение свойств покрытий в зависимости от уровня силового воздействия, величины и чистоты проходов подвижной нагрузки в ограниченное по времени срок проведения испытаний без учета дополнительных факторов влияния, включая климатический. Основным критерием состояния является накопление повреждений в виде образования остаточных прогибов и ширины раскрытия трещин преимущественно в растянутой зоне. Автору не известны исследования состояний жестких покрытий после расчетного срока эксплуатации в условии воздействия силовых, климатических и техногенных факторов. Этим определяется цель и задачи, решение которых изложены в настоящей главе.

Основной целью обследований ставилось оценить фактическое и эксплуатационное состояние дорожных покрытий с применением сборных железобетонных плит, меру и причины накопления ущерба после длительного срока эксплуатации; установить не использованные резервы несущей способности; выявить типовые схемы разрушений и способы восстановления эксплуатационной пригодности.

Для обследования были выбраны участки подъездной дороги с Волоколамского шоссе к поселку Ручьи, с Щелковского шоссе в микрорайон им. Гагарина г. Балашихи и покрытия межпоселковых дорог в районе г. Таруса Калужской области.

Во всех случаях конструкции дорожных одежд состояли из сборных плит ПАГ, уложенных на слой песчаного основания от 30-60 см на тяжелом суглинке.

Общие вопросы методики обследования. Инструментальное обеспечение.

Метод обследования – инструментально- визуальный.

Визуально обследовались разрушения поверхностного слоя в пределах видимости на микроскопическом уровне с разрешающей способностью человеческого глаза 0.05 мм. и с использованием трубки Бриннеля - 0.005 мм.

Исследования микроразрывов сплошности осуществлялось способом «мокрых пятен» Пробста. Измерение трещин на микроскопическом уровне раскрытия производились с помощью мерных луп с точностью 0.1 мм.

На макроскопическом - линейкой, с ценой деления 1мм. Габаритные измерения производились рулеткой.

В настоящее время для исследования прочности бетона в конструкций наибольшее применение получили приборы механического действия и

ультразвуковой дефектоскопии. Натурные испытания прочности бетона в плитах покрытий требует проведения предварительных исследований с целью выбора способа измерений в наибольшей степени отвечающих условиям работы и состоянию покрытия, влияющих на точность измерения. С этой целью проведены испытания различных способов и приборов различного принципа действия в зависимости от погодных факторов, положения поверхности измерений, влажного состояния покрытия. Исследование проводилось на плитах покрытия типа ПАГ и ПДГ, находящихся за пределами механического воздействия транспорта.

Сравнительные результаты испытаний показали, что применение приборов ультразвуковой дефектоскопии не дают объективных показателей реальной прочности в следствии влияния влажностного состояния. Скорость прохождения ультразвука на базе измерений зависящая от плотности материала изменялась в зависимости от влажности при водонасыщении в 1,2-1,5 раза.

Достоверность полученных данных в полевых условиях была подтверждена испытанием в лаборатории призм бетона размерами 30х30х60 из 6 образцов.

Результаты обследования.

Износ и разрушение поверхностного слоя.

Причины разрушения поверхностного слоя можно разделить на 4 группы факторов воздействия:

1. Технологические - способ производства
2. Климатическое - воздействие вызванное попеременным замораживанием и оттаиванием влаги
3. Техногенная - воздействие агрессивной среды при применении химикатов при борьбе с гололедом и действие выхлопных газов.
4. Механическое- воздействие рабочих органов машин при расчистке дорог от снега и гололеда.

Технологические причины: Общим катализатором процессов разрушения поверхностного слоя является изначальные технологические причины, в том числе способ изготовления вибрированием, при котором происходит миграция вовлеченных пузырьков воздуха из глубины массива бетона к поверхности и химическая усадка бетона в процессе его твердения.

И первый, и второй случай приводят к образованию начальных напряжений и дефектов структуры в виде концентраторов напряжений и разрывов сплошности.

Начальные микроразрывы и полости на поверхности плиты опасны, поскольку являются проводниками вглубь влаги и агрессивных химических реагентов, которые в случае замерзания приводят к разрушению растворной составляющей поверхностного слоя в виде шелушения. При наличии арматуры усадочные напряжения сосредотачиваются вокруг и вдоль

арматурных стержней, препятствующих равномерному развитию деформации.

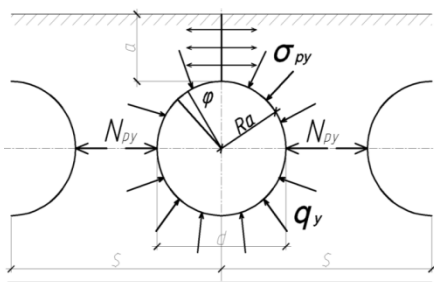


Рис. 1. Схема образования усадочных напряжений в фибровом сечении защитного слоя бетона



Рис. 2. Образование усадочных трещин в зоне арматуры

На рис.1. представлена расчетная схема напряженно-деформированного состояния фибрового сечения вокруг арматуры, где q - усадочное напряжение на поверхности арматуры, N_{py} - равнодействующая горизонтальной проекции, a - высота защитного слоя, R_a -радиус арматуры, S -расстояние между стержнями арматуры, (σ_{py}) - напряжение растяжения в расчетном сечении.

Величина растягивающего усилия, воспринимаемого сечением защитного слоя определяется из условия:

$$N_{py} = \int_0^{\pi/2} q_y \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi = q_y \cdot 2r_a \quad (13)$$

$$\sigma_{py} = \frac{q_y \cdot d}{a} \quad (14)$$

Условием образованию усадочной трещины будет:

$$\sigma_{py} \leq [R_{bp}] \quad (15)$$

Где R_{bp} - предельное сопротивление бетона поверхностного слоя на осевое растяжение. Не трудно видеть, что оно зависит только от диаметра арматуры и величины и качества бетона защитного слоя.

На рис. 2. представлена общая картина разрушения поверхностного слоя от усадки.

Разрушение поверхностного слоя от действия климатических факторов.

Изучению сопротивлению бетонов воздействию отрицательных и знакопеременных температур, повышению морозостойкости бетона посвящен ряд исследований, как в России, так и за рубежом. Принято считать, что основной причиной разрушения бетона является изменение фазового состояния воды, находящиеся в трещинах при ее замерзании. При этом разрушение от замерзания может зависеть одновременно от нескольких причин, в том числе от разности температурных деформаций и значения удельной теплоемкости, составляющих компонентов текстуры бетона и

железобетона, от наличия солей, противогололедных смесей (техногенный фактор). Значение коэффициентов температурной деформации и удельной теплоемкости составляющих материалов бетона. Таб.1.

материал	Коэф. температурной деформации	Удельная теплоемкость
Бетон	$10 \cdot 10^{-6}$	1930
Щебень	$4 \cdot 10^{-6}$	770
Песок кварц.	$1.1 \cdot 10^{-6}$	835
Сталь	$11,8 \cdot 10^{-6}$	480

Если разность температурных деформаций вызывает разрушение контактной зоны крупного заполнителя и растворно - песчаной матрицы, то различия показателей теплоемкости приводят при замерзании особенно в раннем возрасте к образованию тонкой ледяной пленки на поверхности заполнителя. Этим объясняется отсутствие следов сцепления с цементным камнем в поверхностном слое

Заметим, что перечисленные факторы климатического воздействия от кристаллизованного давления льда на стенки трещин, различия температурных деформаций и теплоемкостей протекают на макроскопическом уровне, и как правило, проявляются совместно. Вода, находящаяся в результате капиллярного подсоса, находится в связанном состоянии с новообразованиями, при взаимодействии с цементным камнем практически не замерзает при температурах до -30 градусов.

К климатическим факторам воздействия следует отнести влияние физической усадки связанное с деформациями, вызванными неравномерным распределением влажности по высоте сечения. Измерениями установлен крайне неравномерный характер распределения ее величины по высоте сечения плит: от 7.4 % на поверхности до 3.3 % в нижнем сечении при влажном состоянии. И от 2.7 % на поверхности до 4.6 % при высыхании. Более интенсивная физическая усадка при высыхании вызывает появление растягивающих напряжений. Водонасыщение создает противоположный эффект. Превышение влажности на периферии не только снижает начальные растягивающие напряжения но, при определенных условиях может вызвать некоторое обжатие поверхностного слоя бетона. На рис.3 и рис.4 приведена общая картина разрушения поверхностного слоя.



Рис. 3. Разрушение поверхностного слоя сборных ж/б плит



Рис. 4. Разрушение поверхностного слоя плит ПАГ

Деформации и разрушение покрытий от силовых напряжений транспортными средствами.

Установлено 2 основные схемы разрушения дорожных плит от силового воздействия; от общего действия подвижной нагрузки, при котором объем разрушений зависит от времени эксплуатации и местного действия при наезде колесной опоры, не зависящего от времени.

Для системного изложения результатов обследования случаев силовых разрушений плит на рис.5. приведены эпюры моментов и поперечных сил для различных случаев расположения колес движению, в зависимости от расстояния до обочины.

Схема разрушения от общего действия.

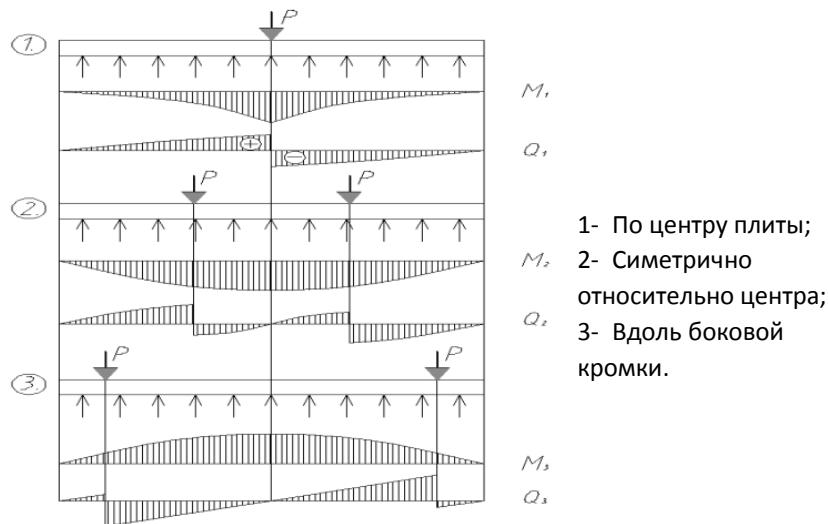


Рис. 5. Расчетные схемы распределения эпюр моментов и поперечных сил для разных случаев положения колес движения

В первом и втором случаях трещинообразование и разрушение по нормальному сечению от действия изгибающего момента, в третьем- при движении вдоль обочины, от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы. Для иллюстрации схемы Рис 6 приведена фотография динамики появления и раскрытия трещин в процессе испытания опытного участка покрытий на нижней поверхности сборных железобетонных плит типа ПАГ 14, динамика их развития в зависимости от числа проходов установки ИУ-70, выполненные в ЦНИИ-26.

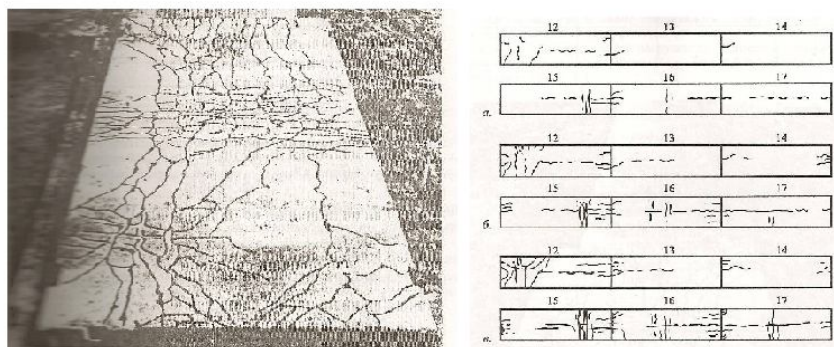


Рис 6. а. Образование трещин от действия подвижной нагрузки на нижней поверхности б. Схема развития трещин

Испытания показали, что в процессе приложения многократно повторяющейся нагрузки вначале появляются поперечные трещины, от действия максимального изгибающего момента, а только потом продольные.

По направлению и интенсивности распределения трещин в зависимости от числа проходов можно выделить 2 основные группы трещин; поперечные и продольные трещины от действия изгибающего момента и трещины от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы.

Динамика появления и раскрытия трещин в процессе увеличения числа проходов показывает, что остаточные трещины и прогибы, а следовательно и потеря напряжения в арматуре происходит уже в начальной стадии эксплуатации дороги (после 500 проходов). Этот результат чрезвычайно важен в сравнительном анализе технико-экономической эффективности предварительно напряженных и не напряженных плит, в результате которого сделан вывод, что предварительное напряжение не дает существенного преимущества.

Характерно, что мере накопления числа проходов реализуется последовательно обе схемы в начале наезда, при положении колес на относительно близком расстоянии, от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы, и образование поперечных трещин от преимущественного действия только изгибающего момента за пределом в центре плиты.

На Рис. 7 представлена расчетная схема в виде консольной плиты свисающей над слоем разуплотненного грунта основания вследствие развития деформации ползучести грунта в сторону откоса обочины. Одним из примеров такого разрушения является облом плит.

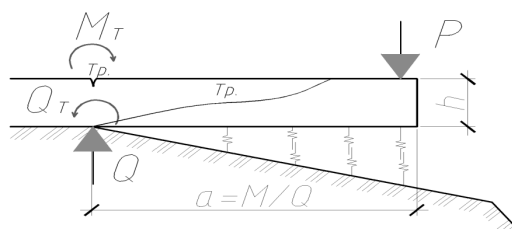


Рис.7. Расчетная схема

Облом углов плит. Причиной разрушения является действие обратного изгибающего момента, когда напряжение в верхней, растянутой зоне бетона превышает предельное растяжение при изгибе. Характерно для неармированного сечения при движении вдоль обочины и по диагонали при наезде транспортного средства на угол плиты (фото рис.8.)

Разрушение от местного действия зоны приложения силы.

Если разрушение от общего действия проявляются и развиваются во времени, то разрушение от местного действия зависит только от величины и условий приложения нагрузки по определению на ограниченном участке.

Основными причинами местного разрушения являются:

- вымывание и просадка грунта в узловых соединениях и примыканиях боковых граней плит, приводящее к образованию прослоек между плитой и основанию;
- превышение нагрузки, носящее, как правило динамический характер при наезде колеса на выступающие грани предельного сопротивления бетона;
- отсутствие армирования краевых граней плит способного воспринимать скалывающие напряжения от действия поперечных сил.

Разрушение от действия поперечной силы сопровождающиеся раздроблением бетона сжатой зоны (фото рис.9).



Рис. 8. Характер разрушения от совместного действия момента и поперечных сил.



Рис.9. Срез кромки боковой поверхности

Вывод: - выполненный анализ позволяет в качестве основного критерия вида разрушения принять относительное плеча среза r_a .

$$r_a = \frac{a}{h}, \quad a = \frac{M}{Q} \quad (16)$$

- при $r_a \gg 5$ разрушение по нормальному сечению от изгибающего момента; - при $r_a \ll 2 - 5$ от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы по наклонному сечению; - при $r_a \ll 1.5 - 2.5$ по наклонному сечению от поперечной силы; - при $r_a \ll 1.5$ - срез.

Результаты обследования выявили многообразие причин и факторов утраты эксплуатационных качеств сборных железобетонных покрытий за период эксплуатации, все они во многом обусловлены ошибками, допущенными при проектировании и низким качеством строительства. С ошибками проектирования, прежде всего, связано несоответствие расчетных схем действительным условиям работы. Расчет плит ведется как жестких бетонных покрытий на упругом основании без учета образования трещин. Рабочая арматура по расчету располагается только в нижней растянутой зоне, верхняя зона в области растягивающих напряжений от обратного прогиба оставлены неармированными. При наезде и съезде транспорта а так же при движении вдоль обочины остается не армировано.

Не учтены дополнительным армированием, ставшими типовые, случаи местного разрушения. С чем связано образование обломов, сколов и срезов покрытия. Неоправданно размещение монтажных и петлевых соединений в углах плит.

Низкое качество строительства дорог с покрытием из сборных железобетонных плит включает 2 составляющих:- заводской брак изделий и низкое качество производства работ.

К производственному фактору, прежде всего, относится низкая прочность бетона, не соответствующая расчетной. В таблице помещены средние данные результатов испытаний прочности бетона методом отрыва со скалыванием и упругого отскока при обследовании.

Результаты испытаний прочности бетона.

Табл. 2.

Тип плит	Состояние поверхности		Кол-во опытов	Предельное сопротивление		Отношение фактической R к проектной
	Сухое	Водонасыщ.		отрыву	сжатию	
Паг 14	1,8%	6,8%	10	1,65	17,5	0,79
				1,87	19,2	0,87
ПБ-30	2,82%	7,4%	10	1,2	15,6	0,76
				1,58	17,1	0,95

Как видно из таблицы не в одном из результатов фактическая прочность приповерхностного слоя не соответствовала расчетной. В меньшей степени расхождения выявлены у плит типа ПАГ с рефленной поверхностью, при формовке которых расположенной внизу на поддоне опалубки. В обычных плитах это расхождение в разных случаях составляло от 0,5 до 0,8. Другой причиной брака является не соответствие фактического армирования проекту. В отличии от плит междуэтажных перекрытий, дорожные при разрушение не падают на голову. По этому для армирования про-

изводственники, прежде всего, используют отходы арматуры. С этим связано большое количество уложенных в дорогу обычных плит с нарушением требуемого положения арматуры по высоте сечения, отклонения от проектного значения диаметра, превысив в 2-3 раза.

Общим признаком брака при изготовлении предварительно напряженных плит является разрушение анкерной зоны в случае передачи напряжения с упоров опалубки на бетон до набора требуемой прочности бетона. Все, что связано с преждевременным разрушением сборных плит покрытий на дорогах является следствием низкого качества строительства грунтового основания, а именно:

- несоблюдение требований норм и правил при выполнении отдельных видов работ, технологического потока при подготовке грунтового основания, отсыпки и уплотнения рабочего слоя.

- отступление от проекта при устройстве откосов, насыпей и обочин в виде завышения крутизны уклона, уменьшение высоты рабочего слоя и равномерности его распределения.

Низкая технологическая дисциплина, выраженная в нарушении очередности выполнения и составов работ, предусмотренных графиками технологических потоков.

- нарушение водно-теплового режима в результате отсутствия или не качественного выполнения элементов водоотвода от дороги.

- отсутствие сварных соединений плит в покрытии.

Литература

1. Майоров В. И. Влияние времени нагружения на сопротивление бетона при растяжении при изгибе. Автомобильные дороги №3, 1990.
2. Майоров В.И. Кузьмин П.К. От условной к точной модели расчета трещиностойкости железобетонных сечений.//Строительная механика железобетонных конструкций и сооружений.- 2007.- №2,-С. 22-28.
3. Майоров В. И. Расчет граничных значений относительной высоты сжатой зоны и процента армирования по деформационной модели //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений № 3. 2008.-С.32-37.
4. Мурашев В.И. Теория появления и раскрытия трещин, расчет жесткости железобетонных элементов и строит. Промышленность. – 1940-№11-с-6-18.

STANDARD SCHEMAS OF DESTRUCTION AND ROTATION CRITERION OF LIMITING STATE AS A RESULT OF PRECAST PAVING SLAB INVESTIGATION

P. K. KUZMIN, *graduate student*
Peoples' Friendship University of Russia
LLC «Promtehekspertiza»

The article contains the investigation author results of precast paving slab conditions on different road sections after long exploitation term (over 20 years). Defined the impact on the exploitation term of crack resistance, damage ability and accumulation after long technological effects and climatic factors.

KEYWORDS: pavement plates, crack, crack width, surface layer, destructions schemas, assessment criterion.

К ВОПРОСУ О ГЕОМЕТРИИ РЕЗНЫХ ОБОЛОЧЕК МОНЖА

Е. Р. ФИЛИПОВА, аспирант (Латвия)
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
zenjuuu@gmail.com

В мировой практике четкой тенденцией является применение пространственных конструкций разнообразных форм, дающих выразительные архитектурные образы и решающих функциональные задачи. В статье рассмотрены возможности применения резных оболочек Монжа, описана их геометрия и плюсы использования данной оболочки в строительстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пространственные конструкции, оболочка Монжа, направление строительства, геометрические характеристики.

Современные направления в строительстве должны позволять нам применять все более выразительные архитектурные образы, снижать расход материалов, трудоёмкость изготовления и монтажа конструкций, а так же решать важные функциональные задачи. В связи с этим эффективность использования пространственных конструкций является бесспорной. Не останавливаясь на архитектурной выразительности покрытий сложной геометрии, следует отметить, что они позволяют получать надежные конструкции, обладающие большой жесткостью и прочностью при относительно малом расходе материала. Меняя различные геометрические параметры покрытия, можно в широких пределах варьировать полями перемещений и напряжений конструкции.

Обширное применение пространственных конструкций стало возможным благодаря хорошо изученной геометрии, а так же имеющимся аналитическим методам расчета, однако большинство оболочек относятся к весьма ограниченному числу поверхностей: круговых цилиндрических, конических, сферических и некоторых других традиционных форм, которые далеко не исчерпывают богатых возможностей геометрических форм и поверхностей.

Одно из направлений строительной механики, в наше время, является внедрение новых форм пространственных конструкций, следовательно, изучение их геометрии и разработка методов расчета является основной задачей. Поэтому хочется обратиться к менее изученным поверхностям, которые ничуть не уступают по своим качествам и выразительности хорошо изученным поверхностям.

Большие возможности в создании ярких архитектурных образов предоставляют резные линейчатые поверхности Монжа, которые относятся к поверхностям неканонической формы. Оболочки, на основе резных линейчатых

поверхностей Монжа достаточно технологичны и позволяют осуществлять процесс строительства непосредственно на строительной площадке благодаря способности их срединных поверхностей разворачиваться на плоскость.

Резными называются поверхности, у которых плоскости одного семейства плоских линий кривизны ортогональны поверхности. Семейство плоских линий кривизны резной поверхности геодезическое, следовательно, нормали этих линий совпадают с нормальными векторами поверхности. Таким образом, резную поверхность можно охарактеризовать как поверхность с геодезическим семейством линий кривизны.

Гаспар Монж дал определение резных поверхностей, как поверхностей образуемых движением плоской кривой, лежащей в плоскости, катящейся без скольжения по некоторой разворачивающейся поверхности.

Векторное уравнение резной поверхности в векторной форме выглядит следующим образом:

$$\rho(u, v) = r(u) + R(v) \cdot e(u, v),$$

где $\rho(u, v)$ - радиус-вектор поверхности; $r(u)$ - радиус-вектор направляющей кривой; $R(v)$ - уравнение образующей кривой в полярной системе координат; $e(u, v) = e_0(u)\cos v + g_0(u)\sin v$ - уравнение окружности единичного радиуса в нормальной плоскости направляющей кривой; $e_0(u)$, $g_0(u)$ - единичные начальные вектора в нормальной плоскости направляющей кривой.

В зависимости от изменения различных параметров, к примеру, формы образующей, или направляющей будет меняться и внешний облик поверхности. Рассмотрим подробнее одну из поверхностей, а именно, резную линейчатую поверхность Монжа с круговой цилиндрической направляющей поверхностью (рис. 1).

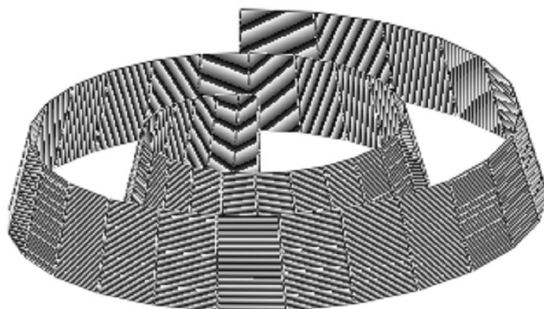


Рис. 1. Резная линейчатая поверхность Монжа с круговой цилиндрической направляющей поверхностью

Для построения данной поверхности были выведены параметрические уравнения поверхности:

$$X = -a \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \alpha_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \alpha \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \cos(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) \cdot \beta$$

$$Y = a \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \alpha_0 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \alpha \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) \cdot \beta$$

$$Z = \sin(\theta) \cdot \beta$$

где: α – натуральный параметр; β – бинормаль направляющей; θ – угол между наклонной плоскостью к горизонту; α_0 – первоначальная точка развертывания поверхности; a – радиус окружности

Для изучения геометрии поверхности, для вывода уравнений равновесия, а так же для расчета оболочки численными методами, необходимо определить коэффициенты основных квадратичных форм, а так же главные радиусы кривизн:

$$E = A^2 = \frac{(\alpha_0 - \alpha + \beta \cdot \cos(\theta))^2}{a^2};$$

$$F = 0; G = B^2 = 1;$$

$$M = 0; N = 0; L = -\frac{\sin(\theta)}{a^2} \cdot (\alpha_0 - \alpha + \beta \cdot \cos(\theta));$$

$$k1 = \frac{\sin(\theta)}{\alpha_0 - \alpha + \beta \cdot \cos(\theta)}; k2 = 0.$$

Для дальнейшего рассмотрения данной оболочки, нам необходимо обратиться к основным методом расчета, которые позволят нам ответить на многие, волнующие нас, вопросы касательные прочности данной пространственной конструкции. Непосредственно, начнем с изучения безмоментной теории расчета оболочек. Напряженно деформированное состояние оболочки часто представляет собой сумму основного напряженного состояния и краевых эффектов. Первое – распространяется на всю оболочку, а вторые имеют местный характер и локализуются вблизи определенных кривых.

В данный момент производится первоначальный расчет оболочки, на действие конкретных нагрузок, таких как, собственный вес и т.д.

Рассматривая резную оболочку Монжа с архитектурной точки зрения, а так же с практической, данная поверхность обладает множеством положительных качеств, которые нельзя не отметить, а именно:

1. Архитектурная выразительность.
2. Надежная конструкция, обладающая большой жесткостью и прочностью.
3. Относительно малый расход материала (не требуется массивных несущих стен).
4. Технологичность, позволяет осуществлять процесс строительства непосредственно на строительной площадке.
5. Возможность рационального использования пространства.
6. Присутствие плавных линий приятных для восприятия глазом.
7. Возможность задействовать поверхность, для общественных зданий.

До настоящего времени этот тип оболочек, применительно к строительству и архитектуре, находится на начальном этапе исследования его напряженно-деформированного состояния и, следовательно, не использовался в современной архитектуре.

Так же, было рассмотрено реальное применение данной оболочки в современном строительстве. Было выбрано применить данную резную линейчатую поверхность Монжа в качестве выставочного зала. В таком случае, поверхность несущей стены будет использована одновременно с двух сторон для расположения экспонатов. Так же нет необходимости устраивать дополнительные стойки, которые могут засекают пространство выставочного павильона.

Для улучшения внешнего вида здания, существует возможность пересечь данную поверхность с секущей наклонной плоскостью, либо использовать плоскую крышу в качестве эксплуатируемой кровли.

Заключение:

1. Рассмотренная оболочка дает возможность авторам действовать более свободно, не связывая себе опорами, загромождающими пространство, создавая сложные композиции в горизонтальных и в вертикальных плоскостях.

2. Рассмотренная поверхность, может органично вписаться в будущую застройку города, и даст поля для мысли и фантазии проектировщикам.

3. На данном этапе идет первоначальный расчет рассмотренной поверхности, который нам позволит иметь общее представление о целесообразности и прочности данной пространственной конструкции.

Литература

1. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. М.: Либроком, 2009. – 556 с.

2. *Кривошапко С.Н.* Геометрия и прочность торсовых оболочек. М.: АСВ, 1995. – 274 с.

3. *Рекач, В.Г., Кривошапко С.Н.* Расчет оболочек сложной геометрии. М.: Университет дружбы народов, 1988. – 177 с.

4. *Гольдинвейзер А.Л.* Теория упругих оболочек М.: «Наука», 1976. – 512 с.

ABOUT MONGE SURFACE GEOMETRY

E.R. FILIPOVA

Peoples' friendship university of Russia, Moscow, Russia

Nowadays, the modern trend is to use the variety of different space structures, which can give us expressive architectural forms and solve functional tasks. In the article there is discussed the possibility of using Monge surface, described their geometry and advantages of using this shell construction.

KEYWORDS: *space structures, Monge surface, direction of construction and buildings, geometric data.*



ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Е.И. ШМЕЛЕВА, аспирант, ведущий инженер
ОАО «НИИЭС», г. Москва, Строительный проезд 7а.
alena-shmeleva@yandex.ru, 8 (499) 493-91-51

В ряде случаев требуется усиление массивных железобетонных конструкций гидросооружений. Предложено усиление внешним армированием из углеродного волокна. Выполнены экспериментальные исследования железобетонных моделей конструкций гидротехнических сооружений с усилением углеродными лентами и без усиления. Для сопоставления с результатами экспериментальных исследований проведены расчеты прочности моделей железобетонных конструкций (в том числе с учетом элементов усиления) на основе предложенных расчетных зависимостей. Результаты проведенных исследований показали ощутимую эффективность применения внешнего армирования из углеродного волокна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: массивные железобетонные конструкции; характер трещинообразования; усиление с применением внешнего армирования; углеродное волокно; железобетонные модели; экспериментальные и расчетные исследования; расчетные зависимости.

Массивные конструкции ГТС представляют собой особый класс железобетонных конструкций. Их отличают значительные габариты; низкое содержание арматуры (процент армирования менее 0,5 %) при больших диаметрах арматуры (до 70 мм); невысокие классы бетона (как правило, до В25); особый характер трещинообразования (в том числе наличие магистральных трещин); наличие контактных строительных швов; особый характер действующих нагрузок (включая давление воды в раскрывшихся трещинах и швах).

В ряде случаев требуется усиление железобетонных конструкций гидросооружений. Одна из причин необходимости усиления - это непроектное состояние гидросооружения, например, при неравномерной осадке его основания.

В качестве примера можно привести особое напряженно-деформированное состояние здания ГЭС, вызванное непроектной осадкой, вследствие чего в его массивной низовой стене возникли наклонные и

горизонтальные трещины, а также значительные напряжения в вертикальной арматуре, пересекающей названные трещины (рис.1).

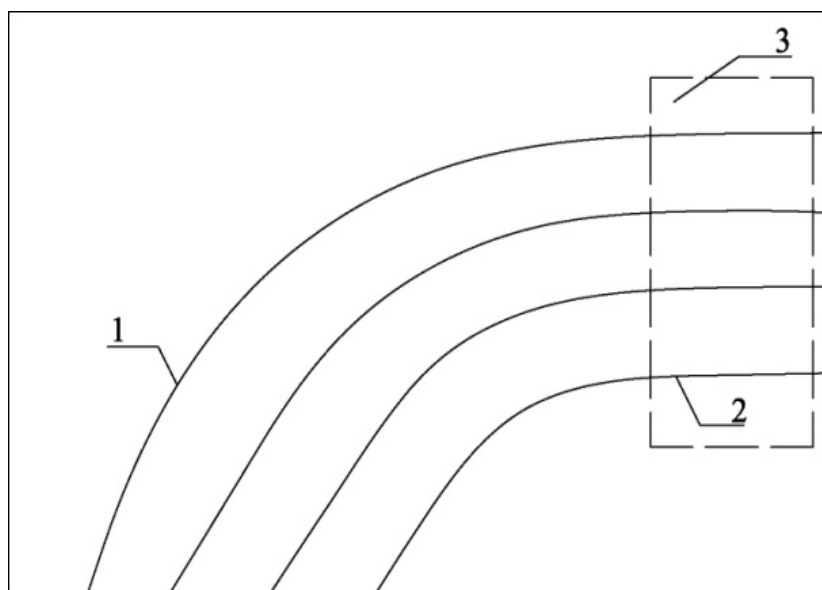


Рис.1. Характер трещинообразования в нижней стене здания ГАЭС; 1- наклонный участок трещин; 2-горизонтальный участок трещин; 3- выделенный для моделирования фрагмент

Один из вариантов усиления железобетонных конструкций здания ГАЭС предусматривает применения внешнего армирования из углеродного волокна [1,2,3].

В целях обоснования предлагаемого технического решения были выполнены экспериментальные исследования усиления фрагмента массивной стены здания ГАЭС, подверженного действию вертикального растяжения.

При разработке программы экспериментальных исследований был учтен опыт физического моделирования массивных железобетонных конструкций ГЭС [4,5].

Для проведения экспериментальных испытаний на действие центрального растяжения были изготовлены железобетонные модели размерами 600x300x150мм (рис.2) из бетона класса В15 с осадкой конуса 8-16 см.

Рабочее вертикальное армирование выполнено из арматуры класса А500С в количестве 4 диаметра 8 мм (рис.2), что соответствует проценту армирования 0,445 %.

По высоте моделей устанавливалась поперечная арматура диаметром 6 мм с шагом 150 мм. Толщина защитного слоя бетона принималась равной 25 мм. Для растяжения моделей разрывной машиной были изготовлены специальные съемные стальные торцевые элементы.

Одни модели изготавливались без усиления, другие модели усиливались углеродными лентами, что позволило осуществить сопоставление результатов испытаний моделей без усиления и моделей с усилением композитными материалами.

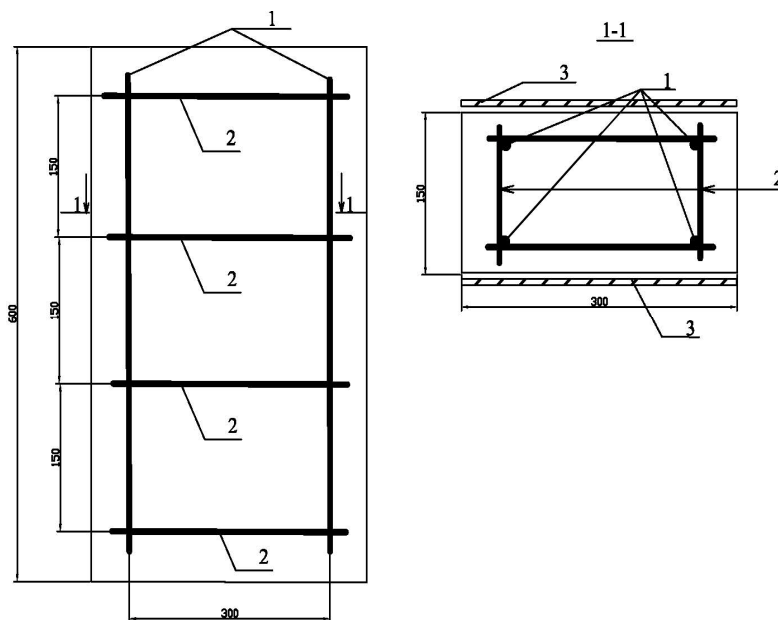


Рис.2. Конструкция железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами, для испытаний на растяжение; 1- 4 ϕ 8А500С; 2- ϕ 6А500С ; 3- усиление лентой из углеродного волокна

Для определения кубиковой и призмочной прочности бетона при сжатии, прочности при растяжении и модуля деформации одновременно с моделями из того же бетона изготавливались стандартные контрольные образцы (кубики 100x100x100 мм , призмы 100x100x400мм, цилиндры диаметром 150мм и высотой 150мм).

При выполнении усиления железобетонных моделей применялись углеродные ленты типа FibArm Tape 230/150 и FibArm Tape 230/300 (шириной, соответственно, 150 и 300 мм в два слоя).

Бетонная поверхность моделей шлифовалась до полного удаления цементной пленки; каверны и дефекты на бетонной поверхности ремонтировались эпоксидной шпаклевкой типа MareWrap 12; выполнялась грунтовка поверхности эпоксидной грунтовкой типа MareWrap primer 1.

Далее противоположные более широкие вертикальные грани (шириной 300 мм) по всей высоте моделей вертикально оклеивались углеродными лентами шириной 300 мм и длиной 600 мм типа FibArm Tape 230/300 в два слоя эпоксидным двухкомпонентным клеем FibArm Resin 230+ (рис.2). У верхнего и нижнего торцов вертикальные ленты анкеровались поперечными хомутами из лент шириной 100 мм типа FibArm Tape 230/150 в два слоя (рис.3).

Железобетонные модели устанавливались вертикально в разрывной машине типа «Амслер».

Для наблюдений за напряженно-деформированным состоянием моделей на углеродные ленты вертикально наклеивались цепочки тензорезисторов с базой 50 мм и точностью измерения 10^{-5} е.о.д. (рис.3). Визуальные наблюдения за образованием и развитием трещин выполнялись посредством микроскопа отсчетного МПБ-2 (трубки Бринелля).

На вертикальных торцевых менее широких поверхностях (шириной 150 мм) при возникновении трещин устанавливались индикаторы часового типа ИЧ-10 для измерения величины их раскрытия (рис.3).

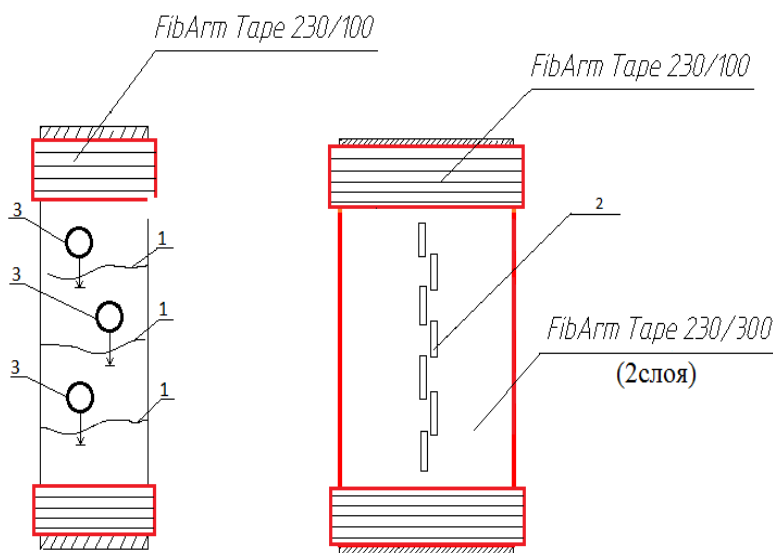


Рис.3. Схема установки приборов в железобетонных моделях; 1- трещины; 2- цепочка тензорезисторов; 3- индикаторы часового типа

В ходе экспериментальных исследований моделей железобетонных конструкций на действие центрального растяжения были получены следующие основные результаты.

Разрушение моделей без усиления было зафиксировано при среднем значении нагрузки 102,5 кН. Разрушение моделей, усиленных углеродными лентами, было зафиксировано при нагрузках 200,0...236,5 кН, что соответствует эффективности усиления, в среднем, в 2,13 раза, по сравнению с обычными моделями (без усиления).

Для сопоставления с результатами экспериментальных исследований были выполнены расчеты прочности моделей железобетонных конструкций.

Уравнение равновесия для модели без усиления имеет вид:

$$N = A_s \cdot R_y,$$

где N – усилие растяжения, вызываемое разрывной машиной; A_s – суммарная площадь сечения четырех арматурных стержней диаметром 8 мм; R_y – предел текучести арматуры класса А500С.

Для железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами, условие равновесия имеет вид:

$$N = A_s \cdot R_y + A_f \cdot R_f,$$

где

A_f – суммарная площадь сечения двух углеродных лент (в два слоя);

R_f – предел прочности углеродных волокон.

Однако, в отличие от арматурных стержней, достигающих предела текучести (что подтверждается результатами испытаний железобетонных моделей без усиления), углеродные ленты в составе системы внешнего армирования могут не достигать предела прочности углеродных волокон. В таком случае условие равновесия приобретает вид:

$$N = A_s \cdot R_y + A_f \cdot \sigma_f$$

σ_f – среднее значение растягивающих напряжений в углеродных лентах.

$$\sigma_f = \varepsilon_f \cdot E_f,$$

где ε_f – среднее значение измеренных деформаций растяжений углеродных лент; E_f – модуль деформации углеродных волокон.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал согласование с расчетными данными. Таким образом, было выполнено экспериментальное обоснование предложенного варианта усиления железобетонных конструкций ГЭС.

Литература

1. Чернявский В.Л. «Система ремонта и усиления строительных конструкций» // Гидротехника №4(21)-5(22), 2010-2011, с.60-63
2. Сердюк А.И., Чернявский В.Л. «Опыт усиления строительных конструкций композиционными материалами при реконструкции Баксанской ГЭС // Гидротехника №3 (32), 2013, с.115-117.
3. Александров А.В., Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Балагуров В.Б. «Расчетное обоснование и технические решения по усилению железобетонных конструкций ГЭС (ГАЭС), имеющих трещины различного направления, при действии комплекса нагрузок» // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, № 6, 2014, с. 50-55.
4. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Нефедов А.В. «Исследования бетонных и железобетонных энергетических сооружений» // Гидротехническое строительство, № 8/9, 1999, с. 22-28.
5. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Ляпин О.Б. «Совершенствование железобетонных конструкций энергетических сооружений» // Гидротехническое строительство № 8/9, 1999, с. 71-76.

STUDY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENING WITH CARBON FIBER FOR HYDRO ENGINEERING FACILITIES

E. I. SHMELEVA, *postgraduate, Managing Engineer*
NIIES OJSC (*info@niies.ru, +7 (499) 493 51 32*)

In some cases strengthening of solid reinforced concrete structures is necessary. External carbon fiber reinforcement is suggested. Experimental studies for hydro engineering facilities reinforced concrete structure models with carbon tapes reinforcement and without it were performed. Reinforced concrete structures strength calculations (including ones with taking into account the strengthening elements), based on the suggested calculation dependencies were performed in order to compare them with the results of experimental studies. The results of studies showed a significant efficiency of external carbon fiber reinforcement.

KEYWORDS: solid reinforced concrete structures; cracking pattern; carbon fiber; reinforced concrete models; experimental and calculation studies; calculation dependencies.

О ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧКАХ ОДИНАКОВОГО СКАТА

ТХОМА АНАМАРИЯ, аспирант, (Албания),
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
anamariathoma@yahoo.fr

Данные материалы представляют собой часть диссертационной работы по тонкостенным оболочкам одинакового ската. Рассмотрены известные случаи использования этих поверхностей и предложены варианты использования их в дальнейшем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тонкостенная оболочка, поверхность одинакового ската, торс-геликоид, эллиптический план, гауссова кривизна.

Тонкостенная оболочка представляет собой пространственную конструкцию, ограниченную двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми малы по сравнению с остальными её размерами.

Тонкостенным оболочкам свойственны повышенная жесткость и прочность, поэтому ими покрывают большие пролетные сооружения без промежуточных опор.

Поверхности одинакового ската – это линейчатые поверхности, имеющие постоянный угол α между своими прямолинейными образующими и соответствующими главными нормальными плоской направляющей кривой.

Поверхности одинакового ската являются поверхностями нулевой гауссовой кривизны, в общем случае, с ребром возврата. Касательные к ребру возврата совпадают с прямолинейными образующими поверхности одинакового ската [1].

Поверхности одинакового ската могут быть построены как огибающие всех положений кругового конуса, если его вершина перемещается по заданной направляющей линии, а ось сохраняет неизменное направление [2]. Если направляющая линия – цилиндрическая винтовая линия постоянного шага, а ось конуса параллельная винтовой оси, то образуется торс-геликоид. Торс-геликоид является наиболее известной поверхностью одинакового ската.

В настоящее время известны 10 поверхностей одинакового ската, в том числе такие экзотические, как торсовые поверхности с ребром возврата на эллипсоиде вращения и на однополостном гиперболоиде вращения [1].

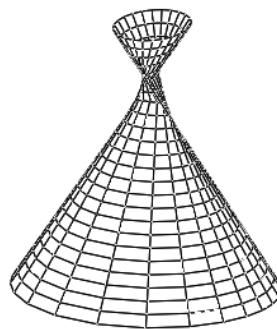
В статьях Кривошапка С.Н. и Тимошина М.А. [3] [4] рассмотрена торсовая поверхность одинакового ската с направляющим эллипсом, где

авторы вывели формулы для вычисления единичных векторов, касательных к координатным линиям – линиям кривизн, единичного вектора нормали и коэффициенты квадратичных форм для данной поверхности.

На рисунке представлена поверхность одинакового ската на эллиптическом плане.

Планируется определить напряженное деформируемое состояние этой оболочки под действием собственного веса и от распределенной линейной нагрузки, распределенной вдоль верхнего торца оболочки.

Исследование данных работ способствуют применению тонкостенных оболочек в разных сферах в промышленном и гражданском строительстве, в машиностроении, в самолетостроении, в судостроении, в архитектуре и так далее, что позволит реализовать новые объекты и новые формы стремившихся превзойти себя и создать нечто новое, ранее не виданное.



Литература

1. Кривошапко С.Н. Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек: Монография. – М.: РУДН, 2009. – 71-72 с.
2. Захаров А.Г. Проектирование рабочей поверхности конуса лесного плуга// Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 10. – С. 10-18.
3. Тимошин М.А. Численные результаты статического расчета на прочность и устойчивость трех оболочек нулевой гауссовой кривизны с направляющим эллипсом// Труды Всероссийской научно-практической конференции «Инженерные системы 2008». – Москва, 7-11 апреля 2008г. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – С. 209-212.
4. Кривошапко С.Н., Тимошин М.А. Статический расчет торсовой оболочки одинакового ската с направляющим эллипсом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2008. – № 1 – С. 3-10.

OF THIN-WALLED SHELLS OF EQUAL SLOPE

THOMA ANAMARIA, (Albania)

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian

Those materials are part of dissertation work on thin-walled shells of equal slope. Considered well-known cases of the use of these surfaces and also proposed different version uses in the future.

KEYWORDS: thin-walled shells, surface of equal slope, torso helicoids, elliptic plane, Gaussian curvature.

УЧЁТ РЁБЕР, НЕ СОВПАДАЮЩИХ С ЛИНИЯМИ ГЛАВНЫХ КРИВИЗН, В ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНОМ МЕТОДЕ РАСЧЁТА ОБОЛОЧЕК

И.В. КУШНАРЕНКО, аспирант

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

ivan.v.kush@yandex.ru, тел.: (495) 955-98-21

Работа посвящена учёту подкреплений, не совпадающих с линиями главных кривизн, в вариационно-разностном методе (ВРМ) расчёта оболочек сложной формы, заданных в линиях главных кривизн. Рёбра описываются теорией криволинейных стержней Кирхгофа-Клебша: учитывается растяжение, изгиб и кручение рёбер; оболочка описывается теорией упругих тонкостенных оболочек Кирхгофа-Лява.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подкрепления, ребристые оболочки, рёбра не в линиях кривизн, формообразование, численные методы, вариационно-разностный метод, сеточный метод, полная энергия деформации.

В предыдущих работах автора [2,3] рассматривалось введение подкреплений вдоль линий главных кривизн. Данная работа является их развитием: представлены выражения для подкреплений, не совпадающих с линиями главных кривизн.

1 Основные гипотезы и формулы.

В основе вариационно-разностной схемы деформирования тонкостенных конструкций лежит принцип минимума функционала полной энергии. Напряжённо-деформированное состояние рёбер описывается теорией криволинейных стержней Кирхгофа-Клебша: учитывается растяжение, изгиб и кручение рёбер. Напряжённо-деформированное состояние оболочки описывается теорией упругих тонкостенных оболочек Кирхгофа-Лява. Поверхностная система координат в линиях главных кривизн.

После нанесения сетки в функционале энергии производные первого порядка и смешанные производные аппроксимируются односторонними разностными производными, производные второго порядка аппроксимируются центральными разностными производными. Во время вычисления деформаций и внутренних усилий после решения системы уравнений все типы производных аппроксимируются центральными разностными производными.

Функционал полной энергии деформаций становится функцией узловых перемещений:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \left(U_T^{ij} + U_B^{ij} + \sum_{RA=1}^{nRA} U_{RA}^{ij} + \sum_{RC=1}^{nRC} U_{RC}^{ij} - A^{ij} \right), \quad (1)$$

где i, j – номера сетки вдоль координатных осей α и β срединной поверхности тонкостенной конструкции; N_1, N_2 – число шагов (разбиений) сетки вдоль координатных осей α и β ; U^{ij} – потенциальная энергия деформации: U_{RC}^{ij} – ребра, совпадающего с линией главной кривизны; U_{RA}^{ij} – ребра, не совпадающего с линией главной кривизны; U_T^{ij}, U_B^{ij} – тангенциальных и изгибных деформаций тонкостенной оболочки; nRA – общее количество ребер, не совпадающих с линиями главных кривизн, nRC – совпадающих с линиями главных кривизн.

Для минимизации полной энергии деформаций приравниваются к нулю частные производные по всем неизвестным узловым перемещениям u_k^{ij} не связанным граничными условиями:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial u_k^{ij}} = \frac{\partial U_T}{\partial u_k^{ij}} + \frac{\partial U_B}{\partial u_k^{ij}} + \sum_{RA=1}^{nRA} \frac{\partial U_{RA}}{\partial u_k^{ij}} + \sum_{RC=1}^{nRC} \frac{\partial U_{RC}}{\partial u_k^{ij}} - \frac{\partial A}{\partial u_k^{ij}} = 0, \quad (2)$$

где $k = 1, 2, 3$ – номер компоненты вектора перемещений; $i = -1, 0, 1, 2, \dots, N_1, N_1+1$; $j = -1, 0, 1, 2, \dots, N_2, N_2+1$; $i = -1, N_1+1$; $j = -1, N_2+1$ – законтурные точки.

Обозначим * – знак транспонирования вектора (матрицы).

При этом выражения производных составляющих потенциальной энергии деформации имеют следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial U_B}{\partial u_k^{ij}} = D \sum_{i=I-1}^{I+1} \sum_{j=J-1}^{J+1} \sum_{l=1}^3 \frac{\partial \bar{\delta}_{ij}^{kl*}}{\partial u_k^{ij}} [r_{kl}^B]_{ij} \bar{\delta}_{ij}^l, \\ \frac{\partial U_T}{\partial u_k^{ij}} = C \sum_{i=I-1}^{I+1} \sum_{j=J-1}^{J+1} \sum_{l=1}^3 \frac{\partial \bar{\delta}_{ij}^{kl*}}{\partial u_k^{ij}} [r_{kl}^T]_{ij} \bar{\delta}_{ij}^l, \\ \frac{\partial U_{RA}}{\partial u_k^{ij}} = E_{RA} \sum_{i=I-1}^{I+1} \sum_{j=J-1}^{J+1} \sum_{l=1}^3 \frac{\partial \bar{\delta}_{ij}^{kl*}}{\partial u_k^{ij}} [r_{kl}^{RA}]_{ij} \bar{\delta}_{ij}^l, \\ \frac{\partial U_{RC}}{\partial u_k^{ij}} = E_{RC} \sum_{i=I-1}^{I+1} \sum_{j=J-1}^{J+1} \sum_{l=1}^3 \frac{\partial \bar{\delta}_{ij}^{kl*}}{\partial u_k^{ij}} [r_{kl}^{RC}]_{ij} \bar{\delta}_{ij}^l, \end{array} \right. \quad (3)$$

где C, D – тангенциальная и изгибная жёсткости тонкостенной конструкции; E_{RC}, E_{RA} – модуль упругости материала ребра q ; $\bar{\delta}_{ij}^l$ – вектор узловых перемещений в направлении l в окрестности узла ij ; $[r_{kl}]_{ij}$ – подматрицы жёсткости в окрестности узла ij относительно перемещений u_k^{ij}, u_l^{ij} : $[r_{kl}^T]_{ij}, [r_{kl}^B]_{ij}$ – тангенциальная и изгибная жёсткости оболочки; $[r_{kl}^{RC}]_{ij}, [r_{kl}^{RA}]_{ij}$ – рёбер, совпадающих и не совпадающих с линиями главных кривизн. Матрицы $[r_{kl}]_{ij}$ формируются на основе геометрических характеристик поверхности (коэффициентов квадратичных форм, кривизн и их разностных производных) и параметров сетки в узле ij (коэффициенты площадей, полурастояния между узлами, наличие отверстий).

2 Преобразование компонентов деформаций

Пусть параметрами 2-х ортогональных систем координат будут (α, β) и (φ, ψ) . На рисунке 1 представлены касательные векторы по соответствующим координатным линиям.

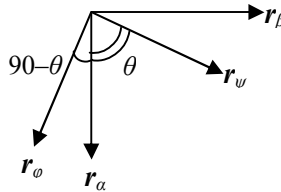


Рис. 1. Системы координат

В соответствии с [4, с. 61-62] формулы деформаций при переходе в ортогональной криволинейной системе координат имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_\alpha = \frac{\mathbf{u}_\alpha \cdot \mathbf{r}_\alpha}{A}; & \omega_\alpha = \frac{\mathbf{u}_\beta \cdot \mathbf{r}_\alpha}{B}; & \left\{ \begin{array}{l} \tau_\alpha = \frac{\Omega_\alpha \cdot \mathbf{r}_\alpha}{A}; \\ \chi_\alpha = \frac{\mathbf{u}_\beta \cdot \mathbf{r}_\alpha}{B}; \end{array} \right. \\ \omega_\beta = \frac{\mathbf{u}_\alpha \cdot \mathbf{r}_\beta}{A}; & \varepsilon_\beta = \frac{\mathbf{u}_\beta \cdot \mathbf{r}_\beta}{B}; & \left\{ \begin{array}{l} \chi_\beta = \frac{\mathbf{u}_\alpha \cdot \mathbf{r}_\beta}{A}; \\ \tau_\beta = \frac{\Omega_\beta \cdot \mathbf{r}_\beta}{B}; \end{array} \right. \end{cases} \quad (4)$$

Где \mathbf{u} – вектор упругого перемещения; Ω – вектор упругого вращения;

\mathbf{r} – радиус-вектор поверхности оболочки; $\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta, \varepsilon_\psi$ – тангенциальные деформации в ортогональной системе координат $\alpha\beta$; $\chi_\alpha, \chi_\beta, \chi_\psi$ – изгибные деформации в ортогональной системе координат $\alpha\beta$.

В практических расчётах в подавляющем большинстве случаев можно воспользоваться приближённым соотношением:

$$\tau_\alpha = -\tau_\beta = \tau. \quad (5)$$

Дифференциал произвольного вектора \mathbf{v} в системе координат $\alpha\beta$ имеет следующий вид:

$$d\mathbf{v} = \mathbf{v}_\alpha d\alpha + \mathbf{v}_\beta d\beta \quad (6)$$

Скалярно перемножая производные радиус-вектора, получим:

$$\begin{cases} \mathbf{r}_\psi \mathbf{r}_\alpha = A^2 \frac{\partial \alpha}{\partial \psi}; & \mathbf{r}_\varphi \mathbf{r}_\alpha = A^2 \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi}; \\ \mathbf{r}_\psi \mathbf{r}_\beta = B^2 \frac{\partial \beta}{\partial \psi}; & \mathbf{r}_\varphi \mathbf{r}_\beta = B^2 \frac{\partial \beta}{\partial \varphi}. \end{cases} \quad (7)$$

С другой стороны, длины векторов $\mathbf{r}_\alpha, \mathbf{r}_\beta, \mathbf{r}_\varphi, \mathbf{r}_\psi$ равны соответственно A, B, Φ, Ψ , поэтому можно записать:

$$\begin{cases} \mathbf{r}_\psi \mathbf{r}_\alpha = A\Psi \cos \theta; & \mathbf{r}_\varphi \mathbf{r}_\alpha = A\Phi \cos \theta; \\ \mathbf{r}_\psi \mathbf{r}_\beta = B\Psi \cos \theta; & \mathbf{r}_\varphi \mathbf{r}_\beta = B\Phi \sin \theta. \end{cases} \quad (8)$$

Из 5 и 4 находим:

$$\begin{cases} \frac{A}{\Psi} \frac{\partial \alpha}{\partial \psi} = \cos \theta; & \frac{A}{\Phi} \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} = \cos \theta; \\ \frac{B}{\Psi} \frac{\partial \beta}{\partial \psi} = \sin \theta; & \frac{B}{\Phi} \frac{\partial \beta}{\partial \varphi} = -\sin \theta. \end{cases} \quad (9)$$

Выражения деформаций на площадке, наклонённой под углом θ к α , в соответствии с [4, с. 61-62] имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_\psi = \frac{\mathbf{u}_\psi \mathbf{r}_\psi}{\Psi \Psi}; \\ \chi_\psi = \frac{\Omega_\psi \mathbf{r}_\varphi}{\Psi \Phi}; \\ \tau_\psi \approx \frac{\Omega_\psi \mathbf{r}_\psi}{\Psi \Psi} \end{cases} \quad (10)$$

Подставляя (9) в (10) с учётом (4)-(6):

$$\begin{cases} \varepsilon_\psi = \varepsilon_\alpha \cos^2 \theta + \varepsilon_\beta \sin^2 \theta + \omega \cos \theta \sin \theta; \\ \chi_\psi = \chi_\alpha \cos^2 \theta + \chi_\beta \sin^2 \theta + \tau \sin 2\theta; \\ \tau_\psi = \chi_\alpha \cos \theta \sin \theta - \chi_\beta \cos \theta \sin \theta - \tau \cos 2\theta \end{cases} \quad (11)$$

3 Выражение угла наклона кривой.

Выражение косинуса угла между двумя кривыми на поверхности в произвольной косоугольной системе координат имеет вид [5, с.222] (Рис. 2):

$$\cos \lambda = \frac{Ed\alpha\delta\beta + F(d\alpha\delta\beta + d\alpha\delta\beta) + Gd\beta\delta\beta}{\sqrt{Ed\alpha^2 + 2Fd\alpha d\beta + Gd\beta^2} \cdot \sqrt{E\delta\alpha^2 + 2F\delta\alpha\delta\beta + G\delta\beta^2}}. \quad (12)$$

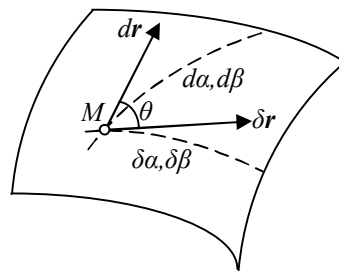


Рис. 2. Угол наклона между двумя кривыми на поверхности.

Отложим поверхностные координатные линии (α, β) и кривую φ на двумерной плоскости (Рис. 3). Пусть ζ – угол наклона дифференциала $d\varphi$ произвольной кривой к дифференциалу $d\alpha$ координаты α на этой плоскости.

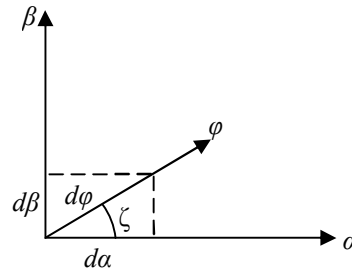


Рис. 3. Дифференциалы координат u и v .

Тогда принимая в (12) $d\beta=0$, угол на поверхности между произвольной кривой и координатой α поверхностной системы координат (Рис. 4) ($F=0$) может быть выражен следующей формулой:

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 \operatorname{tg}^2 \zeta}}. \quad (13)$$

где A и B – коэффициенты 1-ой квадратичной формы.

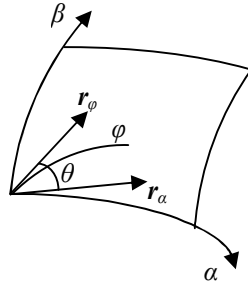


Рис. 4. Угол наклона между произвольной кривой и координатой α поверхностной системы координат

4 Коэффициент квадратичной формы вдоль линии ребра.

Для определения кривой интегрирования, необходимо выразить коэффициент 1-ой квадратичной формы вдоль линии ребра через коэффициенты 1-ой квадратичной формы оболочки.

Производные координат α, β по координате ребра φ (Рис. 3):

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} = \cos \zeta; \quad \frac{\partial \beta}{\partial \varphi} = \sin \zeta. \quad (14)$$

Дифференциал радиус-вектора вдоль произвольной кривой, отвечающий смещению из точки M в точку M' (Рис.5):

$$dr = r_\alpha d\alpha + r_\beta d\beta. \quad (15)$$

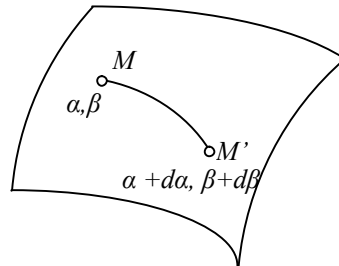


Рис.5. Дифференциалы координат u и v

Коэффициент, определяющий в бесконечно малом длину дуги, соединяющей эти 2 точки:

$$\begin{aligned}
E_{RA} &= r_\varphi r_\varphi = \left(r_\alpha \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} + r_\beta \frac{\partial \beta}{\partial \varphi} \right)^2 = r_\alpha^2 \left(\frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} \right)^2 + 2r_\alpha r_\beta \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} \frac{\partial \beta}{\partial \varphi} + r_\beta^2 \left(\frac{\partial \beta}{\partial \varphi} \right)^2 = \\
&= A^2 \left(\frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} \right)^2 + 2F \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} \frac{\partial \beta}{\partial \varphi} + B^2 \left(\frac{\partial \beta}{\partial \varphi} \right)^2.
\end{aligned} \tag{16}$$

В случае ортогональной поверхностной системы координат ($F = 0$) с учётом соотношений (16), получается:

$$E_{RA} = A_{RA}^2 = A^2 \cos^2 \zeta + B^2 \sin^2 \zeta. \tag{17}$$

5 Потенциальная энергия деформации ребра

Векторы обобщённых внутренних усилий и деформаций ребра имеют по три компоненты, связанных с растяжением, изгибом и кручением ребра:

$$\bar{Q}_{RA} = \begin{pmatrix} N_{RA} \\ M_{RA} \\ T_{RA} \end{pmatrix}, \quad \bar{\varepsilon}_{RA} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{RA} \\ \chi_{RA} \\ \tau_{RA} \end{pmatrix}, \tag{18}$$

где N_{RA}, M_{RA}, T_{RA} – растягивающая сила, изгибающий и крутящий моменты; $\varepsilon_{RA}, \chi_{RA}, \tau_{RA}$ – деформации растяжения, изгиба и кручения ребра;

Вектор обобщённых внутренних усилий связан с вектором относительных деформаций законом Гука:

$$\bar{Q}_{RA} = E_{RA} [N_{RA}] \bar{\varepsilon}_{RA}, \tag{19}$$

где $[N_{RA}] = \begin{pmatrix} F_{RA} & 0 & 0 \\ 0 & I_{RA} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{J_R}{2(1+\nu_{RA})} \end{pmatrix}$ – матрица механических характеристик

ребра; ν_{RA} – коэффициент Пуассона материала ребра; F_{RA} – площадь поперечного сечения ребра; I_{RA} – момент инерции ребра; J_R – постоянная кручения ребра; E_{RA} – модуль упругости ребра.

Потенциальная энергия деформации ребра может быть записана в виде интеграла вдоль кривой ребра S от скалярных произведений вектора внутренних усилий \bar{Q}_{RA} на вектор деформаций $\bar{\varepsilon}$ ребра:

$$U_{RA} = \frac{1}{2} \int_S \bar{Q}_{RA}^* \bar{\varepsilon}_{RA} dS = \frac{E}{2} \int_S ([N_{RA}] \bar{\varepsilon}_{RA})^* \bar{\varepsilon}_{RA} dS = \frac{E}{2} \int_S \bar{\varepsilon}_{RA}^* [N_{RA}] \bar{\varepsilon}_{RA} dS. \tag{20}$$

Деформации ребра, расположенного на расстоянии η от срединной поверхности, выражаются в соответствии с формулами (11):

$$\begin{cases} \varepsilon_{RA} = \varepsilon_{\alpha}^{\eta} \cos^2 \theta + \varepsilon_{\beta}^{\eta} \sin^2 \theta + \varepsilon_{\alpha\beta}^{\eta} \cos \theta \sin \theta; \\ \chi_{RA} = \chi_{\alpha}^{\eta} \cos^2 \theta + \chi_{\beta}^{\eta} \sin^2 \theta + \chi_{\alpha\beta}^{\eta} \sin 2\theta; \\ \tau_{RA} = \chi_{\alpha}^{\eta} \cos \theta \sin \theta - \chi_{\beta}^{\eta} \cos \theta \sin \theta - \chi_{\alpha\beta}^{\eta} \cos 2\theta \end{cases} \quad (21)$$

Выражения деформаций на расстоянии η от срединной поверхности определяются по формулам [6]:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\alpha}^{\eta} = \frac{1}{1+k_{\alpha}\eta}(\varepsilon_{\alpha} + \eta\chi_{\alpha}), \\ \varepsilon_{\beta}^{\eta} = \frac{1}{1+k_{\beta}\eta}(\varepsilon_{\beta} + \eta\chi_{\beta}), \\ \varepsilon_{\alpha\beta}^{\eta} = \frac{1}{(1+k_{\alpha}\eta)(1+k_{\beta}\eta)} \left\{ (1-k_{\alpha}k_{\beta}\eta^2)\varepsilon_{\alpha\beta} + 2\left(1 + [k_{\alpha} + k_{\beta}]\frac{\eta}{2}\right)\eta\chi_{\alpha\beta} \right\}, \\ \chi_{\alpha}^{\eta} = \chi_{\alpha}, \\ \chi_{\beta}^{\eta} = \chi_{\beta}, \\ \chi_{\alpha\beta}^{\eta} = \chi_{\alpha\beta}. \end{cases} \quad (22)$$

Подставляя (22) в (21), получаем:

$$\begin{cases} \varepsilon_{RA} = \frac{\cos^2 \theta}{1+k_{\alpha}\eta} \varepsilon_{\alpha} + \frac{\sin^2 \theta}{1+k_{\beta}\eta} \varepsilon_{\beta} + \frac{(1-k_{\alpha}k_{\beta}\eta^2) \sin \theta \cos \theta}{(1+k_{\alpha}\eta)(1+k_{\beta}\eta)} \varepsilon_{\alpha\beta} + \\ + \eta \frac{\cos^2 \theta}{1+k_{\alpha}\eta} \chi_{\alpha} + \eta \frac{\sin^2 \theta}{1+k_{\beta}\eta} \chi_{\beta} + 2\eta \frac{\left(1 + [k_{\alpha} + k_{\beta}]\frac{\eta}{2}\right) \sin \theta \cos \theta}{(1+k_{\alpha}\eta)(1+k_{\beta}\eta)} \chi_{\alpha\beta}, \\ \chi_{RA} = \chi_{\alpha} \cos^2 \theta + \chi_{\beta} \sin^2 \theta + \chi_{\alpha\beta} \sin 2\theta, \\ \tau_{RA} = \chi_{\alpha} \cos \theta \sin \theta - \chi_{\beta} \cos \theta \sin \theta - \chi_{\alpha\beta} \cos 2\theta. \end{cases} \quad (23)$$

Подставляя выражения (23) в (18), получаем:

$$\bar{\varepsilon}_{RA} = [Tr] \cdot \bar{\varepsilon}_{SH}, \quad (24)$$

где

$$[Tr] = \begin{pmatrix} \frac{\cos^2 \lambda}{1+k_\alpha \eta} & \frac{\sin^2 \lambda}{1+k_\beta \eta} & \frac{(1-k_\alpha k_\beta \eta^2) \sin \lambda \cos \lambda}{(1+k_\alpha \eta)(1+k_\beta \eta)} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ \eta \frac{\cos^2 \lambda}{1+k_\alpha \eta} & \eta \frac{\sin^2 \lambda}{1+k_\beta \eta} & \eta \frac{\left(2 + [k_\alpha + k_\beta] \frac{\eta}{2}\right) \sin \lambda \cos \lambda}{(1+k_\alpha \eta)(1+k_\beta \eta)} \\ \dots & \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & \sin 2\theta \\ \cos \theta \sin \theta & -\cos \theta \sin \theta & \cos 2\theta & \dots \end{pmatrix} \quad (25)$$

$\bar{\varepsilon}_{SH}^* = \{\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta, \varepsilon_{\alpha\beta}, \chi_\alpha, \chi_\beta, \chi_{\alpha\beta}\}$ – вектор деформаций оболочки.

В соответствии с [1] вектор относительных деформаций оболочки может быть разбит на 3 слагаемых, соответствующим направлениям перемещений:

$$\bar{\varepsilon}_{SH} = \sum_{k=1}^3 [O^k] \bar{\partial} u_k = \sum_{k=1}^3 \begin{pmatrix} [H^k] \\ [K^k][1] \\ [K^k][2] \\ [K^k][3]/2 \end{pmatrix} \bar{\partial} u_k, \quad (26)$$

где $\bar{\partial}^* = \left(1, \frac{\partial}{\partial \alpha}, \frac{\partial}{\partial \beta}, \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2}, \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta}, \frac{\partial^2}{\partial \beta^2}\right)$ – вектор-оператор

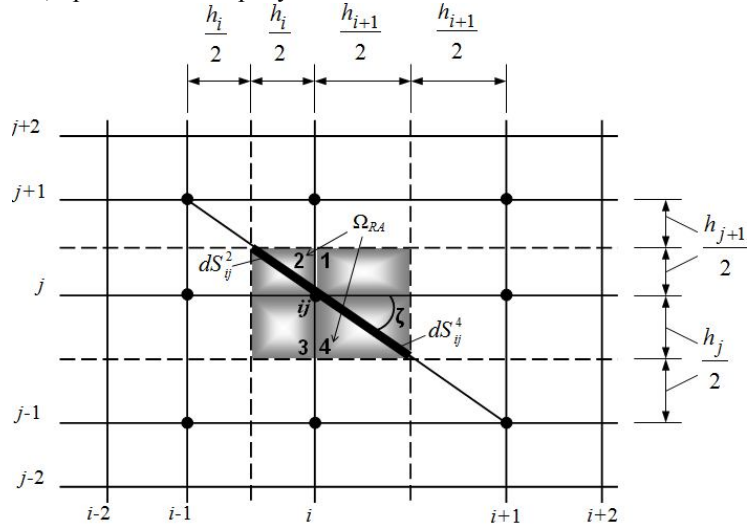
производных; индекс k – указывает направление вдоль координатных осей и нормали; $[H^k]$ и $[K^k]$ – матрицы коэффициентов [1, с. 419] (геометрических характеристик срединной поверхности оболочки) при производных функций перемещений u_k в выражениях относительных тангенциальных и изгибных деформаций; $[K^k][i]$ – i -ая строка матрицы $[K^k]$.

Подставляя формулы (21) и (22) в (16), получается формула потенциальной энергии деформаций ребра, не совпадающего с линиями главных кривиз:

$$U_{RA} = \frac{E}{2} \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 \int_S ([Tr][O^k] \bar{\partial} u_k)^* [N_{RA}] ([Tr][O^l] \bar{\partial} u_l) dS. \quad (27)$$

6 Подматрица жесткости ребра.

Разностный шаблон с ребром, не совпадающим с линиями главных кривизн, представлен на рисунке 6.



$$dS_{ij}^t = A_{RA}^{ij} d\tilde{S}_{ij}^t$$

$$d\tilde{S}_{ij}^1 = \frac{\sqrt{h_{i+1}^2 + h_{j+1}^2}}{2}; \quad d\tilde{S}_{ij}^2 = \frac{\sqrt{h_i^2 + h_{j+1}^2}}{2}; \quad d\tilde{S}_{ij}^3 = \frac{\sqrt{h_i^2 + h_j^2}}{2}; \quad d\tilde{S}_{ij}^4 = \frac{\sqrt{h_{i+1}^2 + h_j^2}}{2}.$$

Рис. 6. Разностный шаблон.

Заменяя в соответствии с [1] вектор производных перемещений в окрестности узла ij , разностными отношениями, подматрица жесткости $[r_{kl}^{RA}]_{ij}$ ребра (см. (4)), не совпадающего с линиями кривизн, имеет структуру:

$$[r_{kl}^{RA}]_{ij} = \sum_{t \in \Omega_{RA}} \int_{dS_{ij}^t} [d_t^{ij}]^* [O']^* [Tr]^* [N_{Rq}] [Tr] [O'] [d_t^{ij}] dS, \quad (28)$$

где Ω_{RA} – подобласти в окрестности узла ij , в которых проходит ребро, $\Omega_{RA} = 1..4$; $[d_t^{ij}]$ – матрицы коэффициентов разностных производных при узловых перемещениях для всех типов производных вектора \bar{d} для каждого из квадрантов t . Матрицы $[d_t^{ij}]$ имеют такую же структуру, как и в книге [1].

Литература

1. *Иванов В.Н., Кривошапко С.Н.* Аналитические методы расчёта оболочек неканонической формы. — Москва: РУДН, 2010. — 542с.
2. *Иванов В.Н., Кушнаренко И.В.* Подкрепления в вариационно-разностном методе расчета оболочек сложной формы // *Вестник МГСУ*. — 2014. — № 5. — С. 25–34.
3. *Иванов В.Н., Кушнаренко И.В.* Расчёт подкреплённых пластинок с помощью вариационно-разностного метода (ВРМ), предназначенного для расчёта тонкостенных конструкций // *Строительная механика и расчёт сооружений*. — 2014. — № 3. — С. 43–49.
4. *Гольденвейзер А.Л.* Теория упругих тонких оболочек. — Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953. — 544с.
5. *Рацевский П.К.* Курс дифференциальной геометрии. — Москва: URSS, 2008. — 428с.
6. *Новожилов В. В., Черных К. Ф., Михайловский Е. И.* Линейная теория тонких оболочек. — Л.: Политехника, 1991. — 656с.

AN ACCOUNT OF RIBS, THAT DON'T COINCIDE WITH LINES OF PRINCIPAL CURVATURES, IN A SHELL ANALYSIS BY VARIATIONAL-DIFFERENCE METHOD

I.V. KUSHNARENKO

Peoples' friendship university of Russia, Moscow, Russia

It is considered stiffeners, that don't coincide with lines of principal curvatures, in the variational-difference method (BPM) analysis of shells of complex shape defined in the lines of the principal curvatures.

Ribs are described by the Kirchhoff-Clebsch theory of curved bars: a tension, a bending and torsion of a rib are taken into account; shells are described by the Kirchhoff-Love theory of thin elastic shells.

KEYWORDS: reinforcements, ribs, ribbed shells, ribs not in lines of curvature, form-finding, numerical methods, variational-difference method, total potential energy.



ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

О. М. СЕМКИВ, к.т.н., с.н.с.
НУГЗУ, г. Харьков, Украина
leokuts@mail.ru

Рассмотрен способ определения области устойчивости горизонтального движения судна на воздушной подушке (СВП) с целью предотвращения попадания его в аварийные ситуации, связанные с потерей устойчивости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фазовый портрет, судно на воздушной подушке, функция Ляпунова, области устойчивости движения.

Судно на воздушной подушке является транспортным средством со сложным управлением. Критические состояния при его движении [1] могут быть вызваны сложными условиями судовождения, обусловленными, например, сложной траекторией движения, а также нелинейным характером описания динамики системы (выходом ее на границу устойчивости).

Изучение аварий СВП [1, 2] показало, что аварийная ситуация начинается из увеличения угла рыскания φ и скорости рыскания (ω_y) и сопровождается нарастанием угла дрейфа β . Этот процесс характерный

для нарушения устойчивого движения в горизонтальной плоскости. На дальнейших стадиях развития аварий наблюдается рост крена θ и дифферента ψ , которые приводят к опрокидыванию. Поэтому повышение безопасности СВП требует увеличения запаса устойчивости движения, прежде всего, в горизонтальной плоскости. Вследствие чего, анализ границы области устойчивости рассматривается именно на примере горизонтального движения СВП.

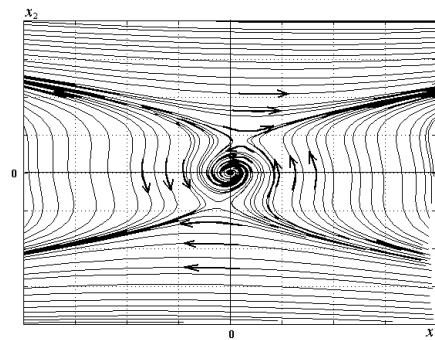


Рис. 1. Фазовый портрет горизонтального движения КПП; рисунок заимствован из работы [4]

Анализ фазового портрета СВП [2] при отсутствии управляющих и возмущающих действий, в плоскости параметров состояния (ω_b , β), показал (рис.1), что фазовый портрет горизонтального движения СВП

содержит три точки равновесия, одна из которых - устойчивая (типа “устойчивый фокус”) - расположена в начале координат между двумя другими неустойчивыми особыми точками типа “седло”. Область устойчивого неуправляемого движения корабля находится, таким образом, в ограниченной области изменения угла дрейфа β (далее обозначено как x_2) и скорости рыскания ω_b (обозначено как x_1).

Поскольку обычно интересует не отдельно взятые значения управляющих и возмущающих воздействий, а результат их взаимного действия, т.е. алгебраическая сумма данных действий, то целесообразно ввести [2] понятие эквивалентного внешнего возмущения $\bar{\delta}$. Это возмущение определяется как $\bar{\delta} = B\delta + w$, где B - матрица коэффициентов управляющих действий, w - матрица возмущающих действий, которые зависят от воздействия ветро - волнового процесса на корпус СВП. Тогда система уравнений, которая моделирует движение СВП в горизонтальной плоскости, запишется в следующем виде [4]:

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_2x_2^2 + a_3x_2^3 + \bar{\delta}_1 = F_1(x_1, x_2, \bar{\delta}_1); \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \bar{\delta}_2 = F_2(x_1, x_2, \bar{\delta}_2)$$

где $\bar{\delta}_1 = b_{11}\delta + w_1(t)$, $\bar{\delta}_2 = b_{21}\delta + w_2(t)$, а значения коэффициентов определялись из таблицы.

Таблица. Коэффициенты математической модели

a_{11}	a_{21}	a_{22}	b_{11}	b_{21}	a_1	a_2	a_3
-0,011	1,0	-0,057	0,011	0,009	-0,04	-0,005	0,246

Поскольку величина $\Delta = \frac{\partial F_1}{\partial x_1} + \frac{\partial F_2}{\partial x_2} = a_{11} + a_{22} < 0$, то согласно

критерию Бендиксона [3] система (1) не имеет предельных циклов и не имеет замкнутых контуров, составленных из ее траекторий. Поэтому система (1) не может иметь одновременно две сепаратрисы, проходящих от одной неустойчивой точки в другую, и из второй точки - в первую.

Область тяготения “устойчивого фокуса” системы (1) с учетом выражения для Δ будем оценивать (при $A > 0$) с помощью определенной квадратичной функции Ляпунова:

$$V = \frac{Ax_1^2}{2} + \frac{x_2^2}{2} \quad (2)$$

Итак, при построении фазовых портретов необходимо предусмотреть определение максимально возможного положительного числа $C > 0$ такого, чтобы на эллипсоподобных линиях (ветвях фазовых портретов)

$$\frac{Ax_1^2}{2} + \frac{x_2^2}{2} = C, \quad (3)$$

производная функции Ляпунова была бы строго отрицательной.

Постановка задачи. Построить фазовые портреты системы дифференциальных уравнений (1) в зависимости от входных параметров.

Выражение для производной функции V необходимо вычислять через систему линейного приближения в окрестности устойчивой точки

$$\begin{aligned} \dot{V} &= Ax_1(a_{11}x_1 + a_1x_2 + \bar{\delta}_1) + x_2(x_1 + a_{22}x_2 + \bar{\delta}_2) = \\ &= Aa_{11}x_1^2 + (Aa_1 + 1)x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + A\bar{\delta}_1x_1 + \bar{\delta}_2x_2 \end{aligned} \quad (4)$$

При этом постоянную $A > 0$ необходимо выбрать так, чтобы производная (4) принимала бы отрицательное значение.

В случае отсутствия внешних возмущений системы СВП (т.е. при $\delta = 0$) был получен фазовый портрет (рис. 2), построенный на фоне поля изоклин системы уравнений (1) с коэффициентами, которые задано в таблице. Идеальную устойчивость системы можно обеспечить, когда скорость рыскания ω_b (параметр x) находится в пределах $[-0,05; 0,05]$, а изменения угла дрейфа β (обозначено как y) – в пределах $[-0,3; 0,3]$ условных единиц.

Наличие поля изоклин системы уравнений (1) указывает на отсутствие общих точек у ветвей фазового портрета, независимо от начальных условий их построений.

Наличия внешних возмущений системы СВП можно учесть с помощью функций описания возмущающих действий, которые вызывают на корпусе СВП ветро - волновой процесс по синусоидальному закону:

$$w_1(t) = h \sin(t/10); \quad w_2(t) = h \sin(t/20) \quad (5)$$

и с учетом управляющих действий:

$$\delta_1 = b_{11}\delta + w_1(t); \quad \delta_2 = b_{21}\delta + w_2(t). \quad (6)$$

Компоненты формулы (6) определяют эквивалентное внешнее возмущение δ [2], и позволяют обнаруживать результат взаимного воздействия управляющих и возмущающих действий. Здесь через h обозначена амплитуда синусоидальных возмущений. На рис. 3 для

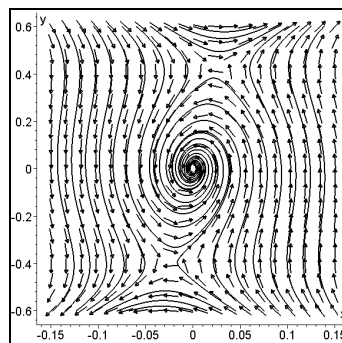


Рис. 2. Фазовый портрет устойчивой системы СВП

примера, приведены фазовые портреты, соответственно, для $\delta=0,1$ и $h=0,01$; $\delta=0,3$ и $h=0,02$; $\delta=-0,3$ и $h=0,02$ условных единиц [5-8].

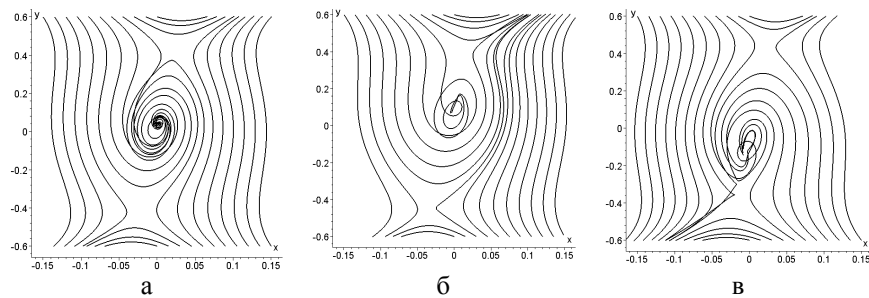


Рис. 3. Фазовые портреты для $\delta = 0,1$ и $h = 0,01$ (а); $\delta=0,3$ и $h = 0,02$ (б) и $\delta=-0,3$ и $h=0,02$ условных единиц

При этом выражения для производной функции Ляпунова (4) имеют, соответственно, вид (здесь сохранен синтаксис языка Maple)

$$dV := A X(t) \left(-0.011 X(t) - 0.04 Y(t) + 0.0011 + 0.001 \sin\left(\frac{t}{10}\right) \right) + Y(t) \left(X(t) - 0.057 Y(t) + 0.0009 + 0.001 \sin\left(\frac{t}{20}\right) \right)$$

и

$$dV := A X(t) \left(-0.011 X(t) - 0.04 Y(t) + 0.0033 + 0.002 \sin\left(\frac{t}{10}\right) \right) + Y(t) \left(X(t) - 0.057 Y(t) + 0.0027 + 0.002 \sin\left(\frac{t}{20}\right) \right)$$

$$dV := A X(t) \left(-0.011 X(t) - 0.04 Y(t) - 0.0033 + 0.002 \sin\left(\frac{t}{10}\right) \right) + Y(t) \left(X(t) - 0.057 Y(t) - 0.0027 + 0.002 \sin\left(\frac{t}{20}\right) \right)$$

а коэффициенты для описания эллипса (3) при $t = 10$ получены в виде

$$F := 0.001295597532A + 0.05253253995= C$$

$$F := 0.003546659902A + 0.1008416242= C$$

$$F := 0.0003438819884A + 0.01868246094= C$$

Реализация полученных результатов поможет учитывать параметры возмущений при движении корабля на воздушной подушке, и позволит дать рекомендации относительно их компенсирования, используя бортовые средства управления, такие как аэродинамические либо потоковые рули, винты переменного шага и т.п.

Заключення: Аналіз фазових портретів динамічної системи (1) в залежності від значень вихідних параметрів допоможе визначити області стійкості горизонтального руху судна на повітряній подушці з метою уникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з втратою стійкості.

Література

1. *Короткин И.М.* Аварии судов на воздушной подушке и подводных крыльях / *И.М.Короткин*. - Л.: Судостроение, 1981. 216с.
2. *Лукомский Ю.А.* Общие закономерности и специфические особенности в математических моделях морских подвижных объектов / *Ю.А.Лукомский, А.Л.Стариченков* // Гироскопия и навигация, №2 (17), СПб, 1997. - С.44- 52
3. *Баутин Н.Н.* Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости / *Н.Н.Баутин, Е.А.Леонтович*, М.: Наука, 1990. 287с.
4. *Стариченков А.Л.* Эллиптическая аппроксимация границы области устойчивости горизонтального движения корабля на воздушной подушке / *А.Л.Стариченков* // ИПТ РАН. Труды ИПТ, 2000, № 4
5. *Куценко Л.М.* Визначення області стійкості горизонтального руху корабля на повітряній подушці / *Л.М.Куценко, М.М. Пікрасов* // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків: ХДУХТ, 2007. - Вип. 20. – С. 45-52.
6. *Куценко Л.М.* Визначення критичних значень параметрів нелінійних диференціальних рівнянь за допомогою анімації зображень їх розв'язків / *Л.М.Куценко, М.М.Пікрасов* // Прикладна геометрія і інженерна графіка. – Київ: КНУТД, Випуск 78, 2007.- С. 33 – 40.
7. *Пікрасов М.М.* Розрахунок області стійкості руху корабля на повітряній подушці / *М.М.Пікрасов* // Наукові нотатки. «Сучасні проблеми геометричного моделювання». Луцьк: ЛДТУ, 2008. - Вип. №22 Ч.1. – С. 264-269
8. *Пікрасов М.М.* Геометричне моделювання еліптичних ділянок фазових портретів коливальних систем / *М.М.Пікрасов* Харків: УЦЗУ, 2008. – 30с.

RESEARCH OF STABILITY MOTIONS OF HOVERSHIP

O. M. SEMKIV

*National University of civil defence of Ukraine, Kharkov, Ukraine
Ministry from emergencies*

The method of determination of area of stability of horizontal motion of ship is considered on an air pillow with the purpose of prevention of hit of him in the situations of emergencies, related to the loss of stability.

KEYWORDS: *phase portrait, ship on an air pillow, Lypunov's function, areas of stability of motion.*



ВЫВОД УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК В ФОРМЕ КОСОГО ГЕЛИКОИДА

Е.М. ТУПИКОВА, соискатель

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье рассмотрен вопрос вывода расчетных уравнений равновесия косоугого геликоида в общем виде для несопряженной неортогональной системы координат.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: косоугого геликоид, уравнения равновесия, линейная теория тонких упругих оболочек, неортогональная несопряженная система координат.

Аналитический расчет оболочек в форме косоугого геликоида был произведен в статьях [4] и [5].

Основы теории тонких упругих оболочек изложены в монографии [1].

Поскольку уравнения расчета оболочек достаточно громоздки и сложны, аналитические и полуаналитические методы до последнего времени оставались непопулярными и, как правило, уступали место конечноэлементным и иным численным методам. Анализ напряженно-деформированного состояния косоугого геликоида осложняется тем, что у этой оболочки несопряженная неортогональная система координат.

В период написания работ [3,4,5] такие расчеты были сопряжены со значительными техническими трудностями и временными затратами как при выводе самих уравнений, так и при их обработке и решении. Ни в одной работе не были рассмотрены из-за указанных трудностей уравнения равновесия, выведенные из физических и геометрических соотношений без значительных упрощений расчетной физической модели (как, например, в работе [3]), или без перехода к ортогональной системе координат (как в работе [4]). Возможно применение ряда приемов, помогающих уйти от непосредственного расчета общего случая данной проблемы к наиболее простым частным случаям[5].

В настоящее время интенсивное и экстенсивное (наращивание мощностей и характеристик) развитие компьютерной техники, новейшее программное обеспечение для математических расчетов позволяет производить намного более сложные расчеты, чем это было возможно 30-40 лет назад, без значительных временных затрат и со сведением к минимуму влияния «человеческого фактора» при обработке данных. В частности, программный комплекс Maple 17 имеет обширный инструментарий для решения дифференциальных уравнений, упрощения сложных и громоздких выражений и ряд других полезных функций.

Параметрическое уравнение геликоида принято автором в виде:

$$x = u \cdot \cos \varphi \cdot \cos v;$$

$$y = u \cdot \cos \varphi \cdot \sin v;$$

$$z = u \cdot \sin \varphi + c \cdot v;$$

По сравнению с видом

$$x = u \cdot \cos v;$$

$$y = u \cdot \sin v;$$

$$z = k \cdot u + c \cdot v;$$

такие уравнения более очевидны и позволяют применять больше тригонометрических преобразований, (причем следует помнить, что координата u отсчитывается по-другому).

Тогда квадратичные формы поверхности принимают вид:

$$E := 1; F := \sin(\varphi) c; G := u^2 \cos(\varphi)^2 + c^2;$$

$$\chi := \arccos \left(\frac{c \sin(\varphi)}{\sqrt{u^2 \cos(\varphi)^2 + c^2}} \right);$$

$$L := 0;$$

$$M := -\cos(\varphi)^3 c \sqrt{c^2 + u^2}$$

$$N := u^2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)^3 \sqrt{c^2 + u^2};$$

Для упрощения принято, что геликоид имеет большое число витков и напряженно-деформированное состояние не зависит от координаты v , т.е. рассматривается двумерная задача.

Задача рассматривается для полой оболочки.

Тогда геометрические соотношения принимают вид:

$$\epsilon u = uu' - \frac{c \sin \varphi uv \cdot u \cos \varphi^2}{(u^2 \cos \varphi^2 + c^2)^{3/2}} + \frac{c \sin \varphi \cdot uv'}{\sqrt{u^2 \cos \varphi^2 + c^2}};$$

$$\epsilon v = \frac{uv' - \frac{c \sin \varphi uu \cdot u \cos \varphi^2}{(u^2 \cos \varphi^2 + c^2)^{3/2}} + \frac{c \sin \varphi uu}{\sqrt{u^2 \cos \varphi^2 + c^2}}}{\sqrt{u^2 \cos(\varphi)^2 + c^2}} + \frac{\left(1 - \frac{c^2 \sin^2 \varphi}{u^2 \cos \varphi^2 + c^2}\right) u uu'}{c^2 + u^2} + \frac{uz u^2 \sin \varphi \cos \varphi^3 \sqrt{c^2 + u^2}}{u^2 \cos \varphi^2 + c^2};$$

$$\omega u = -\frac{1}{\sqrt{c^2 + u^2} (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^2} \left((- (c^2 + u^2) (u^2 \cos^2 \varphi + c^2) uv' \right. \\ \left. + c^2 u uv (\cos^2 \varphi - 1) \right) \sqrt{u^2 \cos^2 \varphi + c^2} \\ \left. + c uz \cos \varphi \sqrt{c^2 + u^2} (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^2 \cos \varphi \right);$$

$$\omega v = -\frac{1}{\sqrt{c^2 + u^2} (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)} \left((\sqrt{u^2 \cos^2 \varphi + c^2} u uv(u, v) \right. \\ \left. + c (uz \cos \varphi (c^2 + u^2)^{3/2} + \sin \varphi u uu) \right) \cos \varphi);$$

$$\gamma v = 0;$$

$$\gamma u = -(uz');$$

$$\kappa u = -\left(-(c^2 + u^2) (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^2 uz'' + \frac{1}{2} (\cos^2 \varphi - 1) u \left(\right. \right. \\ \left. \left. - 2 u^2 \cos^2 \varphi - 2 c^2 \right) uz' + u uz \cos^6 \varphi (c^2 + u^2)^2 c^2 \right) / \\ \left((c^2 + u^2)^{3/2} (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^{3/2} \cos \varphi \right);$$

$$\kappa v = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{c^2 + u^2} (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^{3/2}} \left(\cos \varphi u \left((2 u^2 \cos^2 \varphi \right. \right. \\ \left. \left. + 2 c^2 \right) (uz') + c^2 uz \cos^4 \varphi u (\cos^2 \varphi - 1) (c^2 + u^2) \right);$$

$$\kappa uv := -\frac{1}{2} \left(c \sin \varphi \left((c^2 + u^2) (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^2 uz'' \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{2} \left(2 (u^2 \cos^2 \varphi + c^2)^2 uz + u^3 uz \cos^6 \varphi (\cos^2 \varphi \right. \right. \right. \\ \left. \left. - 1) (c^2 + u^2)^2 u \right) \right) / \left((c^2 + u^2)^{3/2} \cos \varphi (u^2 \cos^2 \varphi \right. \\ \left. + c^2)^2 \right);$$

Физические соотношения применены в виде:

$$Nu := \frac{E0 \cdot h}{(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\varepsilon u - \cot(\chi) \cdot \omega + \sigma \cdot \varepsilon v}{\sin(\chi)};$$

$$Nv := \frac{E0 \cdot h}{(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\varepsilon v - \cot(\chi) \cdot \omega + \sigma \cdot \varepsilon u}{\sin(\chi)};$$

$$Mu := -\frac{E0 \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\kappa u + \sigma \cdot \kappa v}{\sin(\chi)};$$

$$\begin{aligned}
M_v &:= -\frac{E\theta \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\kappa v + \sigma \cdot \kappa u}{\sin(\chi)}; \\
M_{uv} &:= \frac{E\theta \cdot h^3}{12 \cdot (1 + \sigma)} \cdot \frac{\kappa_{uv} - \cos(\chi) \cdot \kappa v}{\sin(\chi)}; \\
M_{vu} &:= -\frac{E\theta \cdot h^3}{12 \cdot (1 + \sigma)} \cdot \frac{\kappa_{uv} - \cos(\chi) \cdot \kappa u}{\sin(\chi)}; \\
S_u &:= \frac{E\theta \cdot h}{2(1 - \sigma^2)} \cdot \left(\frac{1 + (\cos(\chi))^2}{(\sin(\chi))^2} \cdot \varepsilon_{uv} - \cot(\chi) \cdot (\varepsilon u + \varepsilon v) \right. \\
&\quad \left. - \sigma \cdot (\varepsilon_{uv} + \cot(\chi) \cdot (\varepsilon u + \varepsilon v)) \right); \\
S_v &:= -S_u;
\end{aligned}$$

Уравнения равновесия принимают вид:

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{\sin(\chi)} \cdot \frac{\partial}{\partial u} (B \cdot (N + \cos(\chi) \cdot S_u)) - \frac{B^2}{A} \cdot \Gamma_{112} \cdot \sin(\chi) \cdot S_u - B \\
&\quad \cdot \Gamma_{122} \cdot \sin(\chi) \cdot N_v + A \cdot B \cdot (X(u, v) + (\cos(\chi)) \cdot Y(u, v)); \\
&\frac{1}{\sin(\chi)} \cdot \frac{\partial}{\partial u} (B \cdot (S_u + \cos(\chi) \cdot N)) - A \cdot \Gamma_{121} \cdot \sin(\chi) \cdot N + \frac{A^2}{B} \\
&\quad \cdot \Gamma_{221} \cdot \sin(\chi) \cdot S_v + A \cdot B \cdot (Y(u, v) + (\cos(\chi)) \cdot X(u, v)); \\
&A \cdot B \cdot \left(\frac{N}{R_u} + \frac{N_v}{R_v} + \frac{(S_v - S_u)}{R_{uv}} \right) + \frac{\partial}{\partial u} (B \cdot Q_u) + A \cdot B \cdot \sin(\chi) \\
&\quad \cdot Z(u, v); \\
&\frac{1}{\sin(\chi)} \cdot \frac{\partial}{\partial u} (B \cdot (M + \cos(\chi) \cdot M_{uv})) - A \cdot \Gamma_{121} \cdot \sin(\chi) \cdot M_{uv} \\
&\quad + \frac{A^2}{B} \cdot \Gamma_{221} \cdot \sin(\chi) \cdot M_v - A \cdot B \cdot Q_u;
\end{aligned}$$

Из четвертого уравнения находится Q_u , а далее из первых трех уравнений в результате простейших алгебраических преобразований получаются уравнения вида:

$$\begin{aligned}
\frac{d^2}{du^2} uu &= f1 \left(\frac{d}{du} uu; \frac{d}{du} uv; \frac{d^3}{du^3} uz; \frac{d^2}{du^2} uz; \frac{d}{du} uz; uz; X; Y; u \right); \\
\frac{d^2}{du^2} uv &= f2 \left(\frac{d}{du} uu; \frac{d}{du} uv; \frac{d^3}{du^3} uz; \frac{d^2}{du^2} uz; \frac{d}{du} uz; uz; X; Y; u \right); \\
\frac{d^4}{du^4} uz &= f3 \left(\frac{d}{du} uu; \frac{d}{du} uv; \frac{d^3}{du^3} uz; \frac{d^2}{du^2} uz; \frac{d}{du} uz; uz; X; Y; u \right);
\end{aligned}$$

Такую систему дифференциальных уравнений восьмого порядка можно свести к системе восьми дифференциальных уравнений первого порядка.

$$\frac{d}{d u} y = f(u, y);$$

$$y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_u \\ u_u' \\ u_v \\ u_v' \\ u_z \\ u_z' \\ u_z'' \\ u_z''' \end{bmatrix}, \quad f(u, y) = \begin{bmatrix} y_1 \\ f_1 \\ y_3 \\ y_6 \\ y_5 \\ f_1 \\ y_7 \\ f_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_u'' \\ u_v'' \\ u_z' \\ u_z'' \\ u_v' \\ u_v'' \\ u_z''' \\ u_z'''' \end{bmatrix}.$$

Полностью система не приводится ввиду большого объема.

Такую систему восьми дифференциальных уравнений первого порядка можно в дальнейшем решать численным методом, например, методом прогонки.

Литература

1. Гольденвейзер А.Л. Теория тонких упругих оболочек. – М.:ГТТИ, 1953.-544 с.
2. Иванов В.Н., Кривошапко С.Н. Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы:Монография. -М.: РУДН, 2010 г. -542 с.,ил.
3. Рекач В.Г., Кривошапко С.Н. Расчет оболочек сложной геометрии: Монография. - М.: Изд-во УДН, 1988 г. -176с.,ил.
4. Ярошенко А.Р. Осесимметричная деформация винтовой оболочки с прямоугольным профилем//Динамика и прочность машин. – Харьков, 1971. – Вып.12.-с.3-9.
5. O'Mathuna D. Rotationally symmetric deformations in helicoidal shells// J.of Mathematics and Physics.-1963.-42, №2.-P.85-111.

THE DERIVATION OF THE EQUATIONS OF EQUILIBRIUM FOR THE SKEW HELICOIDAL SHELLS

E. M. TUPIKOVA

Peoples' Friendship University of Russia

The article considers the issue of analytical methods of stress-strain behavior calculations for the skew helicoidal shells. The problem is set for non-orthogonal non-conjugated system of coordinates.

KEY WORDS: *skew helicoid, equations of equilibrium, linear theory of thin elastic shells, non-orthogonal non-conjugated system of coordinates.*



**SHAKEDOWN ANALYSIS OF A TRUSS COLUMN
WITH LARGE DISPLACEMENTS
BY DIRECT INCREMENTAL METHOD**

HEIDARI ALIREZA

*Peoples' Friendship University of Russia
alborz.dimas@gmail.com*

The deformation and the stability of steel structures are affected by both geometric and physical nonlinearity. If the displacements of a structure are large, the equilibrium conditions and strain-displacement relations can differ significantly from the corresponding expressions for small displacements. If the steel in parts of the structure yields, the stress-strain relations are modified so that the distribution of the stiffness in the structure changes and mechanisms can be formed. This paper describes the example of shakedown analysis of a truss under cyclic loads by direct incremental method developed by the author. The method accounts for geometrical nonlinearity and allows for large displacements of a structure.

KEY WORDS: steel trusses, cyclic load, shakedown, large displacements.

The behavior of steel structures under cyclic loads differs significantly from their behavior under monotonously increasing loads. If the loads on a structure increase monotonously, parts of the structure yield when a sufficiently high load level has been reached. The load bearing capacity reaches a limit value when a mechanism is formed so that the deformation of the structure can increase without further increase in the load. The structure has reached its limit load. If the loads on a structure vary cyclically and all parts of the structure remain elastic, the behavior of the structure will be the same in all load cycles. If some parts of the structure yield in the first few load cycles, two types of behavior can be distinguished. In some structures, the behavior becomes elastic after the first few load cycles have been completed and remains elastic in all subsequent load cycles. This type of behavior is called shakedown. In other structures, the extent of the plastic zones becomes ever larger as the number of load cycles increases until the structure reaches a limit state or becomes unserviceable due to excessive deformations. This type of behavior is called ratcheting. In this paper the example of the shakedown analysis of the truss is presented that was worked out using the software developed by the author.

1. Workflow of Shakedown Analysis

Let the following attributes of a space truss be given: node identifiers and global node location coordinates; bar identifiers, section properties and bar end node identifiers; node load pattern; prescribed displacement pattern; time histories for a set of load cases; period of the cyclic load; number of time increments per period; participation factors of the load cases in the load combination; maximum number of periods to be computed.

An elastic-plastic analysis of the space truss is performed which accounts for large displacements of the nodes and yields the following results: load factor increment for each load step; node displacement coordinates for each station on the load path; reaction coordinates for each station on the load path; axial bar forces for each station on the load path; accumulated plastic strains for each station of the load path; limit state of the truss if it occurs; notification of shakedown in the computed periods if it occurs. The workflow of the algorithm is shown in Figure 1. The algorithm has been implemented in the software that was used for the analysis of the truss column described in the following sections. The software is based on the program SpaceTruss developed by V. Galishnikova and described in [1] and [2]. The detailed description of the algorithm is given in [3].

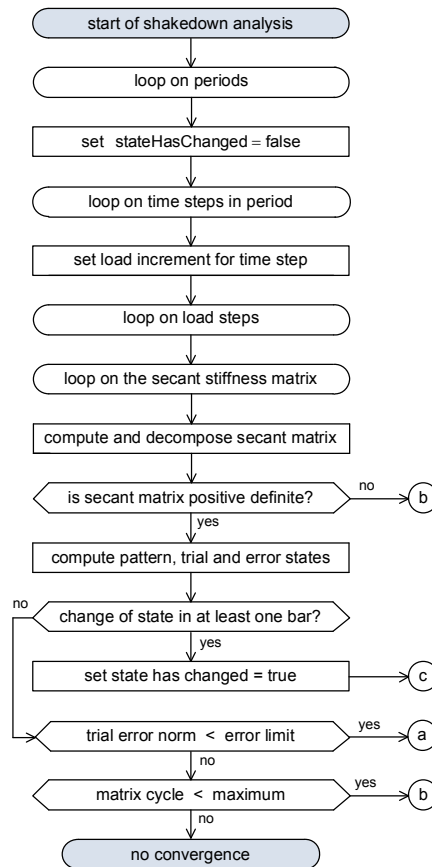


Fig. 1. Work flow of the shakedown analysis

2. Shakedown Analysis of a Rectangular Column

Plans and elevations of the structure are shown in figure 2. The plan of the truss is a square with a side length of 2.0 m. The elevation of the truss consists of 6 stories with a height of 4.0 m each. The load bearing structure consists of 4 vertical chords at the corners of the plan, 4 horizontal ties at each level, 8 crossed diagonals in the 4 vertical planes of each story and 2 crossed diagonals in the horizontal plane at each level. The nodes and their identification numbers are shown in figure 2. The prescribed displacements of the pinned nodes at the lowest level are null in the 3 coordinate directions. The bars are identified with the numbers of their two end nodes. All bars have an area of 0.002 m^2 , yield strength $2.4 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ and modulus of elasticity $2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$.

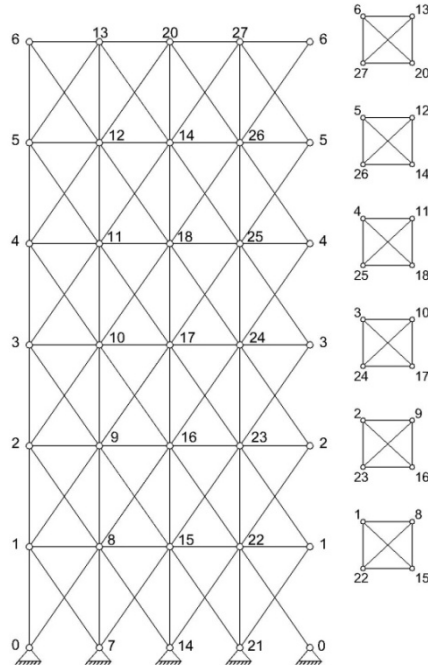


Fig. 2. Nodes and Bars in the Model of the Column Truss

The rectangular truss column is subjected to a cyclic load. The load pattern consists of four equal loads applied at the topmost nodes in the downward direction. The pseudo time diagram for a load cycle is a triangle whose time base is subdivided into eight equal intervals as shown in figure 1. The time stations are numbered 0 to 8. The results for the four chords at a level of a column are equal. The results for the eight diagonals in the vertical planes at a level are also equal. The results are therefore presented for a typical column and a typical chord at each level of the column.

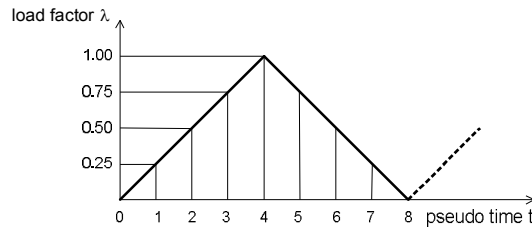


Fig. 2. Variation of the load factor during a period

The first analysis for the cyclic load acting on the column is performed with a safety factor 1.0. The column remains elastic at all time stations. The load factor is then increased to 1.5, 2.75, 5.375 and 10.6875. The column remains elastic at all time stations. This shows that the column shakes down in the range 1.0 to 10.6875 of the safety factor. For the analyses with higher safety factors, the following states of the truss are defined. Bars which are not listed as plastic in a state remain elastic.

- state A: column 1-2 is plastic
- state B: columns 1-2, 4-5 are plastic
- state C: columns 1-2, 3-4, 4-5 are plastic
- state D: columns 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 are plastic
- state E: columns 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 are plastic
- state F: columns 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 are plastic
- state G: columns 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, diagonal 2-10 are plastic

In state F, all columns are plastic but all diagonals are elastic. The load can therefore be increased further. In state G, all columns are plastic as well as all diagonals in one level. The truss column has therefore reached its limit state.

Safety factor 21.34375. The truss is elastic at time stations 1 and 2. In the load step to station 3, the columns become plastic for various load levels so that the load step is subdivided as follows:

- load -1101.441 state A
- load -1101.606 state B
- load -1101.766821 state C
- load -1101.766842 state D
- load -1116.870 state E
- load -1132.723 state F
- load -1138.257 state G

There is no shakedown since G is the limit state of the truss.

Safety factor 16.015625. The safety factor is reduced to $0.5 * (10.6875 + 21.34375) = 16.015625$. The truss remains elastic at stations 1 and 2. In the load step to station 3, the columns become plastic for various load levels so that the load step is subdivided as follows:

- load -1101.441 state A
- load -1101.606 state B
- load -1101.766821 state C
- load -1101.766842 state D
- load -1116.870 state E
- load -1201.172 station 3

In the load step to station 4, the limit load of -1183.257 is reached so that the truss does not shake down.

Safety factor 13.351562. The safety factor is reduced to $0.5 * (10.6875 + 16.015625) = 13.351562$. The truss remains elastic at stations 1 to 3. In the load step to station 4, the columns become plastic for various load levels so that the load step is subdivided as follows:

load -1101.441 state A
 load -1101.606 state B
 load -1101.766821 state C
 load -1101.766842 state D
 load -1116.870 state E
 load -1132.723 state F
 load -1138.257 station 4

The truss does not reach its limit state in load step 4. During the unloading at stations 5 to 8 the truss is elastic. In the second load cycle, the truss remains elastic at all time stations so that there is shakedown. The following residual stresses act in the truss at time station 8 in the second load cycle. The residual state of stress is self-equilibrating. The vertical equilibrium check at the nodes shows the resultant of the internal forces vanishes.

Residual forces for safety factor 13.351						
column	force	ϵ_t	ϵ_p	diagonal	force	ϵ_t
0-1	85.818	-0.000151	-0.000355	0-8	-47.976	-0.000114
1-2	102.104	-0.000187	-0.000430	1-9	-57.081	-0.000136
2-3	101.930	-0.000187	-0.000430	2-10	-56.984	-0.000136
3-4	101.931	-0.000187	-0.000430	3-11	-56.984	-0.000136
4-5	102.017	-0.000187	-0.000430	4-12	-57.032	-0.000136
5-6	93.959	-0.000169	-0.000393	5-13	-52.537	-0.000125

Column ϵ_t of the table contains the total strain, column ϵ_p the plastic strain. The columns have yielded and their residual stresses are tensile. The diagonals have not yielded and their residual stresses are compressive. The vertical equilibrium conditions at the nodes without external loads are satisfied.

The results of the analyses for the other factors of safety have been analyzed in a similar manner. The results are summarized in the following table:

Summary of the Shakedown Analyses					
safety factor	shakedown	safety factor	shakedown	safety factor	shakedown
21.343750	no	13.393188	no	13.382132	no
16.015625	no	13.372375	yes	13.381806	no
13.351562	yes	13.382782	no	13.381644	no
14.683594	no	13.377579	yes	13.381562	yes
13.518066	no	13.380180	yes	13.381603	yes
13.434814	no	13.381481	yes	13.381623	yes

The safety factor of the truss for shakedown is contained in the range 13.381623 to 13.681644. The ratio between the load for which the truss column

remains elastic in all load cycles and the shakedown load for which the truss column remains elastic in all load cycles after shakedown has occurred is $1388.16 / 1101.44 = 1.260$. The increase due to shakedown is thus 26.0 percent.

The residual forces at the maximum safety factor 13.382 for shakedown are larger than the residual forces which are shown above for safety factor 13.351, as would be expected.

3. Conclusion

The example shows that the implementation of the shakedown theory on the Java platform converges properly. The bisection method reduces the uncertainty interval for the maximum safety factor in 25 bisections to $13.381644 - 13.381623 = 0.000021$. The width of the interval is $1.57 \cdot 10^{-6}$ of the value of the factor.

References

1. Галишиникова В.В. Численный анализ устойчивости равновесия пространственных ферм в геометрически нелинейной постановке // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2010. - №1. - С. 42-50.

2. Галишиникова В.В. Проблемы анализа устойчивости равновесия пространственных рам в геометрически нелинейной постановке // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2013. - №4. - С. 28-30.

3. Хейдари А., Галишиникова В.В. Прямой упругопластический расчет стальных ферм с большими перемещениями на предельное равновесие и приспособляемость // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2014, №3, - С. 51-64.

РАСЧЕТ РЕШЕТЧАТОЙ СТОЙКИ НА ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТЬ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРЯМОГО ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА

ХЕЙДАРИ АЛИРЕЗА, аспирант

Российский университет дружбы народов, Москва

На перемещения и устойчивость стальных конструкций оказывают влияние как геометрическая, так и физическая нелинейность. При больших перемещениях условия равновесия и геометрические соотношения существенно отличаются от соответствующих уравнений при малых перемещениях. Если сталь в элементах конструкции достигает текучести, то физические уравнения модифицируются так, что распределение жесткостей в конструкции изменяется и появляется возможность формирования пластического механизма разрушения. В настоящей статье рассмотрен пример расчета на приспособляемость фермы-стойки под действием циклической нагрузки при помощи прямого инкрементального метода, разработанного автором. Метод позволяет учесть геометрическую и физическую нелинейность и допускает большие перемещения конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стальные фермы, циклическая нагрузка, приспособляемость, большие перемещения.



EFFICIENCY OF IRREGULAR POROUS MEDIA SOUND ABSORBERS

Anna ROZANOVA-PIERRAT,
*Maître de Conférences, Département Mathématique, Laboratoire
 Mathématiques Appliquées aux Systèmes, Ecole Centrale Paris, France,
 anna.rozanova-pierrat@ecp.fr*

We consider the problem of the efficient dissipation of the acoustical energy by the shape of a porous medium.

MOTS CLÉS: absorbers, waves, finite volumes, irregular interfaces, damped wave equation, silent wall

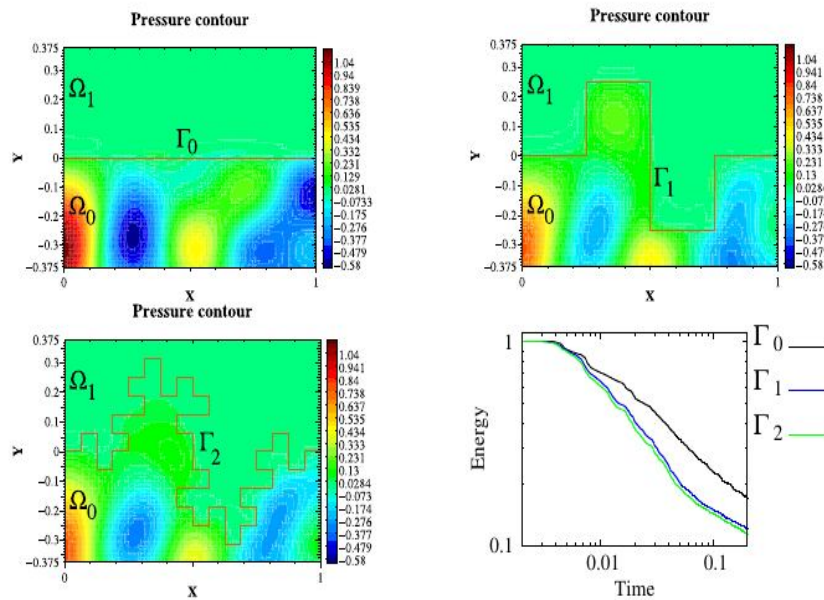


FIG. 1: Pressure contours in cavities with an internal boundary of different fractal generations (from left to right and top to bottom : Γ_0 (flat), Γ_1 and Γ_2) and the corresponding energy damping.

The diffraction and absorption of waves by a system with both absorbing properties and irregular geometry is an open physical problem. From acoustics to optics, the wave absorption, related to the coupling between waves and matter, is a problem of interest. This has to be solved to understand why anechoic chambers (electromagnetic or acoustic) do work better with irregular absorbing

walls. The answer to this question could also be used in other fields such as light or microwave absorption, or also to improve the performances of breakwaters in order to damp sea waves. We investigate this issue numerically by considering acoustical cavities filled with an equal volume of air and porous material (for numerical simulations we have chosen Isorel, useful in building isolation) and find that the irregular interface more efficiently provides energy absorption as the flat interface, see Fig. 1 (see also [1, 2] for eigenmode analysis). This result opens the question of an optimal form of such an interface.

CONCLUSION

Irregular sound absorbers works better. This gives open problems in the fields of the shape optimization and the astride localization (3,4).

Références

- [1] FÉLIX S., ASCH M., FILOCHE M. , SAPOVAL B., *Localization and increased damping in irregular acoustic cavities*, Journal of Sound and Vibration, 299 (4-5), 965–976 (2007)
- [2] HÉBERT B., SAPOVAL B., RUSS S., *Experimental study of a fractal acoustical cavity*, Acoustical Society of America 105, 1567–1574 (1999)
- [3] SAPOVAL B., FÉLIX S., FILOCHE M. , *Localisation and damping in resonators with complex geometry*. European Physical Journal - Special Topics, 161:225–232, (2008).
- [4] SAPOVAL B., ROZANOVA-PIERRAT A., FÉLIX S., FILOCHE M. , *Irregular sound absorbers work better*. J. Acoust. Soc. Am., 123:3497, (2008).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИССИПАЦИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ГЕОМЕТРИЕЙ ПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А. РОЗАНОВА-ПИЕРРАТ, *доцент*,
Лаборатория «Прикладная математика систем»,
Эколь Централь Париж, Франция,
anna.rozanova-pierrat@escp.fr

Мы рассматриваем задачу эффективной диссипации /акустической энергии геометрией пористой поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *акустические рассеиватели, численные методы конечных объемов, волны, сингулярные (не гладкие) поверхности, волновое уравнение с затуханием, беззвучковая стена.*



CHALLENGES OF A HUMAN BODY IN NEW MEDIA SPACE (RELATIONS OF HUMAN BODY AND ARCHITECTURAL SPACE IN THE AGE OF NEW MEDIA AND TECHNOLOGIES)

JELENA BRAJKOVIĆ¹, *PhD Candidate, Research Assistant*

BILJANA JOVIĆ², *PhD, Assistant Professor*

¹*University of Belgrade, Faculty of Architecture, Serbia*

²*University of Belgrade, Faculty of Forestry, Serbia*

This paper will present some of the challenges that human body is experiencing in the architectural space of new media age. Discussing main principles of new media space, concerning human body, machine as the extension of man and augmenting human senses and experiences through mediated reality, this paper will analyze relations developed between augmented human body and augmented architectural space.

KEYWORDS: human body, new media space, mediated reality, augmented body/ space, man-machine, user-interface systems

INTRODUCTION

New media age is the age of computer-based media and technologies. Computer as an expressive medium enabled entirely new possibilities to artistic, as well as engineering, practice in architecture. Architectural space has become severely redefined and expanded. It adopted elements of identity of digital media itself. It has become interactive, procedural and responsive. It adopted user/interface principle of digital technologies. In such space, role of a human body becomes redefined and challenged in many ways. More than ever, human body is an active component of space. Its actions are needed for spatial narrative to resolve. *Through real-time dialogues with space*, human body in the age of new media becomes seriously challenged. Greatest challenges of a human body in new media space are the challenges of augmented human body (augmented perception and senses) and augmented space (mediated reality).

AUGMENTED HUMAN BODY.

In the second half of the 20th century we witnessed the rise and fast development of digital technologies. Society was at the dawn of globalism. As global knowledge was expanding, time to reinvent information structures came. Human mind, and the way it thinks, changed, and that resulted in inventing a new medium, the one that could support this upcoming mind patterns. Jane Murray sees that the exploration of computer technologies is fundamentally motivated by the desire to foster the exploratory processes of the mind itself.

(Murray, 2003) Engineers were interested in augmenting every aspect of human functioning that could be reachable through computer technologies. They were interested in augmenting human intellect, expanding knowledge, reinventing expressive forms, and ultimately *reinventing self* through new media and technologies. These interests collide into one of the greatest engineering principles of new media age – principle of man-machine synergy. Therefore, at a very early stage, Marshall McLuhan described new media as “extensions of man” (McLuhan, 1964). From the psychosocial aspect this concept means that new media are representing and nurturing our “second self”. In terms of physical and technological aspect it represent evolving trends of wearable technologies as mediators of reality.

One example illustrating to which extent technology could extend our bodies is project *The Machine to be Another* by Be Another Lab (2014). A machine created by a Spanish design collective combines virtual reality with advanced neuroscientific techniques to let men and women swap bodies with each other. In the project, two participants stand in front of one another, put on their headsets which allow them to effectively see out of one another's eyes. When they look at each other, they see themselves. When they speak, they hear the



Fig.1. The Machine to Be Another. 2014.

other person's voice in their ears. Working together, the two participants are encouraged to sync their movements, touching objects in the room, looking at things, and exploring their 'own' bodies simultaneously. (Brownlee, 2014) Philippe Bertrand, one of the creators of the project, explains "The brain integrates different senses to create your experience of the world. In turn, the information from each of these senses influences how the other senses are processed. We use these techniques from neuroscience to actually affect the psychophysical sensation of being in your body" (Brownlee, 2014). In this radical concept we see the futuristic idea of experiencing space through someone else's body. On this example we can discuss all major challenges of human body in new media age – challenges of disembodiment and embodiment, enhanced sensing, relation between physical and virtual, and the way human body is present in space.

AUGMENTED SPACE.

Virtual and augmented space. Man-Machine Interfaces.

By mediation, computer technology introduced new ways of experiencing reality. Reality became augmented and virtual. Architectural space of such reality became immersive and responsive, in real-time dialogue with the user experiencing it. Immersive environments depend on the user experience of it, so they represent expanded architectural space which slide from being physical into being virtual, perceptual and personal. These environments are realized through computer technologies. Computer as a medium can present itself as a place since it has the capability of embodying dimensionality (Murray 2003). Places we could reach via computer are symbolic places of representation. These places are reachable through interaction, through processing user provided text



Fig. 2. Exoskeleton. Stelarc. 1999.

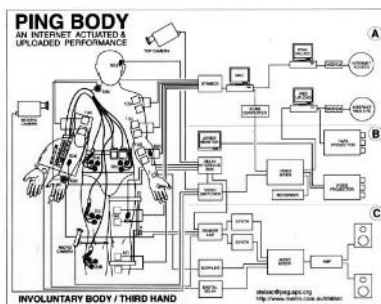


Fig. 3. Ping Body. Stelarc. 1996.

input, which software further navigates. Navigation by software can program computer responses to simulate any space we can imagine. Computer simulated environments are symbolical representations of territory, which is a property of architecture severely redefined in the age of new media.

In virtual environments main challenge for human body is the relation between physicality and virtuality. The relation between virtual and physical existence of the body is complex question discussed by many theorists. Katherine Hayles this man-machine symbiosis sees as

“technologized body” which introduced human body to a *posthuman* era. Hayles states that technologized posthumanity is already here and now, question is only how will it evolve further. (Paul, 2008)In augmented spaces of human-machine interfaces human bodies are always to some level extended by prosthetic bodies. In this way posthumans become cyborgs, experiencing an increasing function of the body and the machine. In Stelarc *Exoskeleton* (1999) a human body is placed in a six-legged, pneumatically powered walking machine. Combining mechanical, electronic and software components, the machine is controlled by the human body. In some performances Stelarc implemented a system that allowed remote audience to actuate the artist’s body through muscle stimulation. (Paul, 2008) Although primitive, Exoskeleton is suggesting possibilities of prosthetic mediators of space, which operate as the communicator levels between human body and the space. By programing

prosthetics in certain ways, we could create a mixed-reality mediated spaces or enhance human sensing of space by stimulating it neurologically.

In human-machine interfaces, besides extending physical body, computer systems have been used to integrate with human body in create mixed-reality environments.



Fig.4. Osmose. Charlotte

In *Ping Body* (1996) Stelarc was one of the first to explore topic of inversion between man and the system. The stimulation was triggered by Internet traffic and the flow of data. In his work, to some extent, Stelarc integrated physical Body and the network. “Allowing the body to be controlled by the machine, Stelarc’s work operates on the threshold between

embodiment and disembodiment, a central aspect of discussion about the changes that digital technologies have brought for our sense of self”. (Paul, 2008, p.167) This example is suggesting architectural environments, augmented by information, which become additional layer of space, and can be in various relations to the human body through programmed interface.

In the field of *immersive environments* human body has become extended territory of space. Space penetrated into interior realms of human body, blurring boundaries with it. In works of Charlotte Davies like *Osmose* (1995), or *Ephemere* (1998), machines are tracking users breathing and balance system and uses that information to transport them into forests and other natural environments. Environments like these are sensual and translucent. They investigate relations between technology, nature and body, three categories nowadays seriously challenged and interconnected. Davies uses a structure of three main levels – landscape, earth and interior body. She includes interior body realm and blurs the boundaries between the subject and its surroundings. By “immersing viewers in a virtual world driven by their own body and breathing. Environments like this radically challenge traditional notions of embodiment and the body's connection with its physical environment” (Paul, 2008, p.127).

In some cases virtual space is completely reachable only through computer systems. In environment like that, experiencing virtual space is possible only by human body’s virtual persona, avatar. In spaces like these, physical human body becomes completely redundant



Fig.5. Hylozoic Ground. Philip Beesley.

and the question of relation between physicality and virtuality emerges again.

Artificial living spaces

In computer extended architectural spaces, conventional architectural categories like territory or materiality also extended. As on one side, in new media space, human body became artificial, on the other side, buildings became alive, artificial living systems. Through explorations of synthetic biology, nanotechnologies and protocells, engineers nowadays design building materials as semi-living, metabolic cell systems which could simulate life, respond to interaction or adapt. Examples of such environments are Philip Beesley's Hylozoic Series (1996-ongoing) that are protocell systems, environments capable of behaving like living to some extent. In such environments challenges of human body are lying in resolving communication with such materials, like they are living, although they are not. Responsiveness of such spaces, pushes human body in an active space dialogue. What is radically new, in terms of architectural engineering, is that this dialogue is for the first time happening between living systems on both side. Materials like this could radically change the way we design and build architectural space, and the way we understand it and communicate with it.

CONCLUSION

In new media age, computer technologies challenge human body in many ways. Mainly, by *augmenting* it. Through concept of "*machine as an extension of man*", engineers managed to enhance many psychological and physical functions of human body. This resulted in creation of concepts like posthumanity and cyborgs, man-machine symbiosis. Ranging from prosthetic extensions, wearable technologies to mediators of reality, all these inventions pushed human body into virtual realms of augmented sensing and going beyond physical dimensionality of a human body.

On the other side new technologies and media influenced architectural space to become immersive, interactive, responsive, virtual or even semi-living. Combination of augmented humans and augmented space resulted in new rules of interaction, to which human body still hasn't completely adapted. Main challenges for human body remains to be questions of embodiment and disembodiment, physicality and virtuality, remote presence and enhanced sensing. Through interactivity, in human-machine interfaces, human body became an active component of space, usually scanned by the system in some way, for collecting needed data. This way another challenge is put in front of the human body in new media space. A challenge of monitoring. This brings an important question of surveillance, widely present in new media culture as troubling, into the relation of human body and architectural space.

Acknowledgement: Authors are supported by the Ministry of Education, science and Technological Development of Republic Serbia, Project No TR36008.

Literature

1. *Armstrong, R.* (2011) How Protocells Can Make 'Stuff' Much More Interesting. *Architectural Design, Protocell Architecture*. Vol. 81, No. 2 (March/April). p.68-78.
2. *Beesley, P., and Armstrong, R.* (2011) Soil and Protoplasm: The Hylozoic Ground Project. *Architectural Design, Protocell Architecture*. Vol. 81, No. 2 (March/April). p.78-90.
3. *Brownlee, J.* (2014) Sci-Fi Device Lets Men And Women Swap Bodies. [Online] Available from: <http://www.fastcodesign.com/3025388/a-machine-out-of-science-fiction-lets-men-women-swap-bodies> [Accessed: 15th October 2014]
4. *Bullivant, L.* (2006) Responsive Environments. London: V&A Publications.
5. *Cruz, M., and Pike, S.* (2008) Neoplastic Design: Design Experimentation With Bio-Architectural Composites. *Architectural Design, Neoplastic Design*. Vol. 78 No. 6 (November/December). p.6-16.
6. *Manovich, L.* (2003) New Media from Borges to HTML. In Wardrip-Fruin, N. and Montfort, N. (eds.). *The New Media Reader*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press. p. 13-25.
7. *McLuhan, M.* (1964, reprint 1994) *Understanding Media: The Extensions of Man*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
8. *Murray, J.* (2003) Inventing the medium. In Wardrip-Fruin, N. and Montfort, N. (eds.). *The New Media Reader*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press. p. 3-13.
9. *Paul, C.* (2008) *Digital Art*. Revised and expanded edition. London: Thames & Hudson Ltd.
10. *Rush, M.* (2005) *New Media in Art*. London: Thames & Hudson Ltd.
11. *Schwartzman, M.* (2008) *See yourself sensing, redefining human perception*. London: Black Dog Publishing.

List of figures

1. Fig.1. *The Machine to Be Another. Be Another Lab. 2014.*
[Online] Available from: <http://www.fastcodesign.com/3025388/a-machine-out-of-science-fiction-lets-men-women-swap-bodies> [Accessed: 13th October 2014]
2. Fig.2. *Exoskeleton. Stelarc.1999.*
[Online] Available from: <http://stelarc.org/?catID=20227>
[Accessed: 10th October 2014]
3. Fig.3. *Ping Body. Stelarc. 1996.*
[Online] Available from: <http://www.t0.or.at/stelarc/interview01.htm>
[Accessed: 10th October 2014]
4. Fig.4. *Osmose. Charlotte Davies.1995.*
[Online] Available from: http://www.digitalstudies.org/ojs/index.php/digital_studies/article/viewFile/181/249/1192
[Accessed: 17th October 2014]
5. Fig.5. *Hylozoic Ground. Philip Beesley. 2010.*
[Online] Available from: http://i1.ytimg.com/vi/v86B9Nz_LVU/maxresdefault.jpg [Accessed: 18th October 2014]



FORM-GENERATING APPROACH IN DESIGN OF SHAPE RESISTANT STRUCTURAL TYPOLOGIES

JELENA MILOSEVIC, *PhD Candidate, Research Assistant*
MIODRAG NESTOROVIC, *PhD, Full Professor*
University of Belgrade Faculty of Architecture Belgrade, Serbia

This paper reviews the potential application of form-generating methods in design of shape resistant structural typologies. The aim is to point on the advantage of application of these methods as design drivers in the early stage of design process. Described example illustrates the effectiveness of this approach.

KEYWORDS: architectural design, architectural structures, form-generating, form-finding, shape resistance, free-form

INTRODUCTION

Generative design process of shape resistant structural typologies implies application of diverse methods for simulation of their mechanical performances. Due to the principle *form follows force*, the shape of these form-active structures is determined by the force and vice versa, and the only feasible way of generating their form is through the application of form-finding. Form-finding could be defined as *finding of (optimal) shape that represents (or approximates) state of static equilibrium* [5] or more precisely *finding a shape of equilibrium of forces in a given boundary with respect to a certain stress state* [2]. In a broader sense these generative processes represent ... *finding of adequate architectural and structural forms* [4]. Form-finding methods were developed following engineering philosophy, that reduces process of form conception to the identification of solutions that are efficient only in structural terms. Development of the light structures, especially from the middle of the XX century, encouraged engineers on physical experiments. In that period Frei Otto developed design strategies inspired by nature termed as *Formfindung* [6]. Since 1960 restrictiveness of manual experiments (only conceptual and analytical form-finding tools for a while) was overcome by the application of efficient, reliable and precise computational simulations.

FORM-GENERATING METHODS

Contrary to the conventional procedure in which structure is determined for the defined shape form-finding implies application of inverse procedure: *after setting several geometrical parameters (such as span and height), loading and*

desirable restrictions of stresses and displacements, starts the finding of natural equilibrium shape [7]. Numerous examples demonstrate that results of such processes are more natural and elegant shapes, and more favorable stress states. With respect to the medium used in simulations, form-finding methods could be (1) analog or (2) digital. Making physical models has long been an essential part of the design process of shape resistant structures. Currently their application is suppressed by the advanced computation techniques.

Generally, form-finding methods could be established upon: (1) principles of inverted hanging model, (2) concept of stress control or (3) structural optimization. While the first and second principle could be both realized by application of analog and digital techniques, optimization is limited to the mathematically based computational analysis methods. Difference should also be made between application of these techniques in the context of form-finding of (1) rigid systems and (2) non-rigid systems [1]. Though these are related procedures it is not possible to implement them directly on principally diverse structural typologies. In that respect structural shells were usually simulated by inverted hanging chain or textile models, pneumatic models or extruded polyurethane foam model. While equilibrium form of membranes could be found by soap film models (natural minimal surfaces) or textile models, used for generating mechanically pre-stressed membranes.

Methods of computational form-finding comprise numerical procedures that simulate physical performances of the system. Numerous methods have been developed. Methods from the earlier period are usually applied on the (1) discrete structures (cables) while novel methods are expanded on the (2) surface structures (membranes). Three main families of the computation form-finding methods could be differentiated: (1) stiffness matrix methods based on the application of standard elasticity and geometric stiffness matrices; (2) geometric stiffness methods that are independent from the material, with only geometric stiffness; (3) dynamic equilibrium methods that solve the problem of dynamic equilibrium to arrive at a steady-state solution [1]. Generally, computational methods design of pavilion structure. The applied software represents interactive tool based on the Trust Network Analysis (TNA) introduced by Block in [3].

TNA is a method for generation of vaulted structural systems and nets. Basically this method exploits principles of graphic statics sustainably expanding them to the three-dimensional problems. TNA method facilitates form-finding of equilibrium configuration of networks generated within defined contour, for the case of gravitation load, by application of the projective geometry principles, dual theory and linear optimization. This intuitive graphic method was developed with the aim to find its application both in the analysis

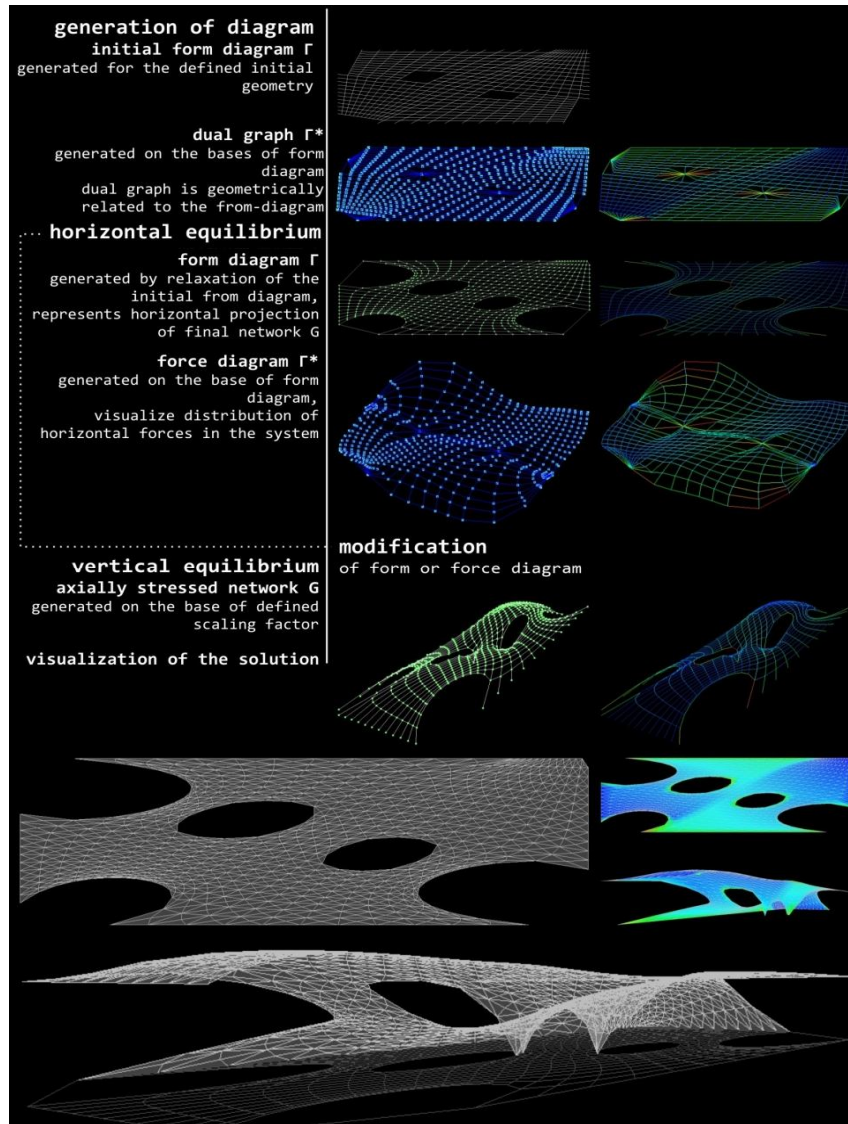


Fig. 1. Structure generated by application of RhinoVAULT Beta v 0.2 plug-in for Rhinoceros: Γ form diagram, Γ^* force diagram, G spatial solution of the axially stressed network

of the historical vaults and design on innovative structures. [3] The method is conceptualized to facilitate high level of control of all degrees-of-freedom of three-dimensional wire system, implying flexible, controlled shape manipulation in the process of formal researches and form-finding.

TNA method uses two fundamental elements of graphic statics: form diagram (Γ) and force diagram (Γ^*). Description of in-plane equilibrium of unstressed surfaces, represented by the discretized mesh, was achieved by reciprocal figures method [9]. In this method equilibrium state is found in the process of mapping of reciprocal figures on two reciprocal surfaces and by their in-plane prestressing. Specifically, for the defined contour form diagram is generated first, and then its dual, force diagram, that defines proportional distribution of the horizontal components of the stresses (in-plane force flow). After achievement of horizontal equilibrium, vertical equilibrium is calculated on the bases on the configuration of both two-dimensional diagrams. The result of the calculations is spatial axially stressed network (G) that represents form of the structure that is exclusively compressed.

The Figure 1 illustrates application of this general procedure as design driver in the process of form-generating of the equilibrium solution for the initially defined base contour of the designed pavilion structure. The process of the design exploration was conducted by the variation of the following parameters:

- selection of the initial network topology (Γ) that represents horizontal projection (i.e. base of the structure) of the final equilibrium network (G);
- boundary conditions - supports;
- distribution (horizontal) forces in the system, visualized by the dual grid (Γ^*) that is geometrically connected with the geometry of the grid (Γ);
- spatial solutions that are defined by the upper and lower level of the node heights and contour of the supporting edges and

facilitate more simple manipulation with the models, variation of the parameters (material, load cases that dominantly influence shape, boundary conditions, etc.), and digital results of these simulations could be directly used in structural analysis and processes of digital production.

DESIGN EXPERIMENT. Design experiment demonstrates advantage of application of RhinoVAULT, plug-in for Rhinoceros developed in 2012 at ETH Zurich [8] in overall height of the solution that is controlled by the size of the forces in the system, represented by the dual grid.

Manipulation of the parameters facilitates generation and modification of the design solutions making this interactive tool, that integrates design and structural analysis flexible for structural informed design explorations.

CONCLUSION. This paper briefly reviews procedures, techniques and tools for production of structurally rational forms suitable for application in the phase of design conception. Computational methods simulate behavior of physical

models for form-finding enabling efficient, flexible, interactive-based explorations. Advantages of the digital technologies expanded interests of the designers for the unconventional spatial structures in certain hand transforming their position from the specialized to more accessible recourse of architectural design. Integration of parameter and simulation tools in design process stimulates new rhetoric facilitating objective external information, under shelter of form-finding, to determine values that generate design solutions.

Acknowledgement: Authors are supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic Serbia, Project No TR36008.

References

1. *Bechthold, M.* (2008). *Innovative Surface Structures: Technologies and Applications*. New York & Oxon: Taylor & Francis
2. *Bletzinger, K.-U.* (2011). Section 12.2: Form finding and morphogenesis. In: I. Munga, J.F. Abel (Eds.), *Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures, Multi-Science*, pp. 459–482.
3. *Block, P.* (2009). *Thrust Network Analysis: Exploring Three-dimensional Equilibrium*. PhD Dissertation. Massachusetts Institute of Technology.
4. *Coenders, J., Bosia, D.* (2006). Computational tools for design and engineering of complex geometrical structures: From a theoretical and a practical point of view. In: Oosterhuis, K., Feireiss, L. (Eds.), *Game Set And Match II. On Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies*. Episode Publishers, p. 006.
5. *Lewis, W.J.* (2003). *Tension structures. Form and Behaviour*. Thomas Telford, London.
6. *Nerdlinger, W.* (2005). *Frei Otto Complete Works Lightweight Construction Natural Design*. Birkhauser Publishers for Architecture, Basel, Switzerland.
7. *Ramm, E.* (2004). Shape-Finding of Concrete Shell Roofs. *Journal of IASS* (45), pp.29-39.
8. *Rippmann, M., Lachauer, L., & Block, P.* (2012). *RhinoVAULT: Designing Funicular Form with Rhino*. Retrieved Jun 26, 2013, from Block Research Group: <http://www.blockarch.ethz.ch/tools/rhinovault>
9. *Williams, C.J.* (1986). Defining and Designing Curved Flexible Tensile Surface Structures. In J. A. Gregory, *The mathematics of surfaces*, pp 143-177.

ФОРМОГЕНЕРИРУЮЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФОРМОУСТОЙЧИВЫХ СТРУКТУРНЫХ ТИПОЛОГИЙ

ЕЛЕНА МИЛЮШЕВИЧ, *соискатель, ассистент*

МИОДРАГ НЕСТОРОВИЧ, *д.т.н., профессор*

Белградский университет, ф-т архитектуры, Сербия

В статье рассматривается возможность применения формогенерирующих методов в дизайне форморезистентных структурных типологий. Цель состоит в том, чтобы выявить преимущества применения этих методов в качестве дизайн драйверов на ранней стадии процесса проектирования. Эффективность данного подхода иллюстрируется примером.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *архитектурное проектирование, архитектурные конструкции, формогенерирующие, поиск подходящей формы, сопротивление формы, свободная форма.*



ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО ШПУНТА В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.А. МЕНЬШИКОВ, аспирант
И.А. РУМЯНЦЕВА, д.т.н. проф.
МГАВТ, г. Москва, Россия

Развитие композитных материалов за последние 50 лет, позволяет применить их в гидротехническом строительстве. Благодаря высокому соотношению силы к весу, а также устойчивости к коррозии, внедрение композитного материала в гидротехнические сооружения является одной из актуальных задач на сегодняшний день.

Цель данной работы является проведение научного обзора по проблеме применения композитного шпунта в гидротехническом строительстве и обоснования критериев его эффективности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композитный материал, шпунт, коррозия, гидротехническое строительство, причальные и берегоукрепительные сооружения.

Проект стратегии развития внутреннего водного транспорта России до 2030 года, предполагает переход значительной части грузов, традиционно идущих по автодорогам и железной дороге, на внутренние водные пути России. Так же исходя из концепции энерго- и ресурсосбережения правительство Российской Федерации поставило задачу о развитии исследований по разработке новых строительных материалов на основе крупнотоннажных и труднореализуемых промышленных отходов. Вследствие чего, актуальным является применение материалов нового уровня эксплуатационных свойств, в том числе композитных материалов.

Цель данной работы является проведение литературного обзора по проблеме применения композитного шпунта в гидротехническом строительстве и обоснования критериев его эффективности.

Во многих гидротехнических сооружениях используются стальные шпунты, для которых зоны переменного уровня воды, являются зонами активного механического воздействия среды (ледовых нагрузок, волновых ударов и т.п.), которые подвергаются повышенному воздействию коррозии. За один год шпунтовая стенка может потерять до 0,6 мм от своей толщины. Вследствие чего требуются противокоррозионные работы (лакокрасочные, легирование, электрохимическая защита и т.п.), которые не всегда являются эффективными. Это требует значительных затрат средств и рабочего времени. Применение шпунтов, изготовленные из полимерного композитного материал, повышает надежность и долговечность сооруже-

ния, а так же приводит к сокращению расходов при строительстве и реконструкции.

Материалы, которыми пользовался человек в своей деятельности всегда играли важную, а часто и определяющую роль в прогрессе цивилизации. Каменный век, бронзовый век и железный век, все это название этапов развития человечества и использование нового для эпохи строительного материала. Современную эпоху можно назвать веком композитных полимерных материалов.

Человек начал использовать искусственные композитные материалы еще в древние времена. Так, в Древнем Египте строили глинобитные жилища, упрочненные смолой, а израильтяне использовали смолу для упрочнения кирпича. Известно, что в Японии в период Нары в VII в. Изготавливали статуэтки Будды из сухого лака пропитыванием полотна лаком. Существенный прогресс в области композиционных материалов, и в особенности армированных пластиков, был достигнут в начале 40-х годов 20 века. Во время Второй мировой войны началось создание композита на основе хлопкового волокна, пропитанного фенольной смолой. За последние 50 лет композитные материалы нашли свое применение во многих областях. Бурное развитие технология получила в машиностроении, проектировании самолетов и катеров. Особую популярность композитный полимерный материал приобрел в строительной отрасли, благодаря соотношению силы к весу материала. При замене основные конструктивных элементов из стали и бетона, эксплуатирующихся в сложных технических и климатических условиях, а также контактирующих с агрессивными средами, на полимерные композитные повышается надежность и долговечность гидротехнического сооружения.

Но что же такое композитный материал? Композитный материал – это искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними. Пултрузия является экономичным методом производства композитных материалов. Технология пултрузии основана на протягивании волокнистых армирующих материалов, предварительно пропитанных полимерной композицией, через нагретую формообразующую фильеру, в которой происходит управляемый термореактивный процесс полимеризации связующего полимера. Армирующий состав (стекловолокно, базальтовое волокно, углеволокно и т.д.) подается и пропускается через преформовочное устройство, которое придает ему желаемую форму и выравнивает волокна. После прохождения преформовочного устройства материал пропускается через инъекционный бокс, где он пропитывается связующим полимером и подается нагретую фильеру, после чего готовый композитный профиль нарезается по заданным длинам.



Рис. 1. Коррозия шпунтовой стенки

На сегодняшний день опыт применения металлических шпунтов и свай в гидротехническом строительстве показал, как губительна для стали коррозия. Коррозия **может приводить к** опасным и дорогостоящим повреждениям сооружения (рис.1).

Вследствие чего, особый интерес для гидротехнического строительства представляет

использование композитного материала с полимерной матрицей. Полимерные композитные шпунты обладают высокой удельной (по отношению к плотности) прочностью и жесткостью, стойкостью к высоким и низким температурам, агрессивным средам и эрозии.

На сегодняшний день, на отечественном рынке представлены композитные шпунты как западных, так и отечественных производителей. (Таблица 1).

Таблица 1 - Виды полимерных шпунтов, представленных на отечественном рынке

Наименование	Момент инерции сечения $\text{см}^4/\text{м}$	Момент сопротивления сечения $\text{см}^3/\text{м}$	Толщина стенки	Высота профиля	Ширина профиля	Материал	Конфигурация профиля	Страна производитель
	$\text{см}^4/\text{м}$	$\text{см}^3/\text{м}$	мм	мм	мм			
ШК-150	1788 6	574	5,0	145	600	полиуретан*	U	Россия
UC-95	6773 0	3140	13,7	432	762	полиуретан	Z	
UC-75	3605 0	2027	10,2/10, 9	356	610	полиуретан	Z	

Наименование	Момент инерции сечения см ⁴ /м	Момент сопротивления сечения	Толщина стенки	Высота профиля	Ширина профиля	Материал	Конфигурация профиля	Страна производитель
UC-50	14200	1118	8,3/9,0	254	914	полиуретан	U	США
UC-30	6828	672	6,4	203	457	полиуретан	Z	
UC-20	2322	330	4,4/5,1	140	610	полиуретан	U	
SG-950	46567	3054	16,5	305	457	арамид**	Z	
SG-650	20484	1613	11,7	254	457	арамид	Z	
SG-625	16660	1312	9,8	254	762	арамид	U	
SG-525	10788	946	7,4	229	610	арамид	U	
CL-9000	9969	871	7,1	229	610	арамид	U	
SG-400	8194	806	7,6	203	305	арамид	Z	
SG-325	5326	597	6,4	178	610	арамид	U	
SG-225	2458	387	5,7	127	457	арамид	U	

*композитный материал на основе полиуретана

**композитный материал на основе эпоксидной смолы и арамида

Жесткость материала, измеряется модулем упругости, является основным показателем при выборе шпунта, для винила этот показатель приблизительно равен 2620 МПа, дерево - 10340 МПа, винилэфирные и полиэфирные от 17240 до 20685 МПа. Однако модуль упругости металлоконст-

рукции составляет примерно 206000 МПа (марка стали с235). Включение дополнительного ровинга и трех слоев двунаправленных тканых волокон, позволило увеличить модуль упругости до 27580 МПа.

По сравнению с полиэфирными и винилэфирными смолами, полиуретан значительно превосходит обычные смолы, обладая более высоки модулем упругости при изгибе (Jeff Martin, CEO of Martin Pultrusion Group (MPG, Oakwood Village, Ohio). Использование чистого полиуретана позволило увеличить показатели композитного шпунта на 30 %, модуль упругости составляет 47573 МПа (Bayer MaterialScience (Pittsburgh), Pa). Что позволяет возводить шпунтовые стенки до 5 метров, без использования анкерных тяг. Не смотря на то, что механические показатели стали остаются на порядок выше, практические факторы композитного материала помогают ему конкурировать: во-первых, сталь должна иметь запас прочности, вследствие коррозии, во-вторых, сталь гораздо тяжелее, а стоимость установки гораздо дороже. А также при строительстве в отдаленных районах необходима крупногабаритная техника.

Зарубежная практика применения композитного шпунта позволяет выделить основные области применения композитного шпунта: - укрепление береговой линии (рис. 2); - подпорная стенка(рис. 3);

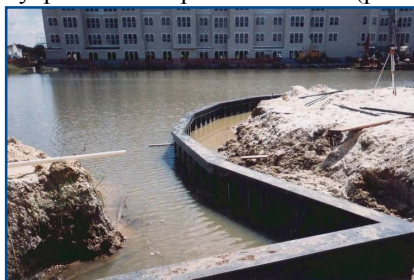


Рис.2. Берегоукрепление (США, Флорида, Глендрич Палмер Рэнч, 609 м)

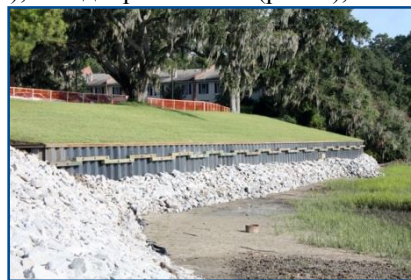


Рис.3. Подпорная стенка в г. Оквин, США

-морской пирс (рис.4);



Рис.4. Морской пирс в Азербайджане (1000м).

-причалные сооружения (рис.5);



Рис.5. Пирс 1 в Стейтен-Айленд, Нью-Йорк, США

В настоящее время приоритетность инвестирования строительных объектов, а также производство и технология работ на них часто определяются не научным критерием. Для минимизации возможного утилитарного подхода необходимо иметь и использовать научно-обоснованную методику принятия технического решения на основе значимости. Мера значимости объекта определяется его ценностями. Согласно действующим нормативным документам надежность определяется как комплексное свойство объекта, включающее в себя три важнейших критерия:

- безотказность - свойство объекта сохранять качество (в течение заданного срока эксплуатации);
- долговечность - длительное сохранение работоспособности;
- ремонтпригодность – предусмотренность объекта к восстановлению технических свойств.

Вследствие устойчивости к коррозии, морозостойкость, возможность работы в химически агрессивных средах, соблюдается критерий безотказности для конструкций из композитных материалов. Долговечность данного материала составляет более 30 лет. Легкость материала позволяет отказаться от крупнотоннажного оборудования, повышая эффективность монтажных и ремонтных работ.

К сожалению, в России степень использования композитных материалов в гидротехническом строительстве с полимерной матрицей пока очень мала. В значительной степени это связано с недостаточным развитием теоретических расчетов анизотропных материалов, которые позволяли бы давать надежный прогноз их поведения в конструкции. Внедрение компо-

зиционных материалов в строительной индустрии сдерживается также из-за существенного влияния технологии изготовления на прочностные характеристики композитов. Решение данных проблем позволит изменить представление о полимерных композитах в гидротехническом строительстве, и в дальнейшем повысит эффективность финансовых вложений в речную и морскую инфраструктуру.

Литература

1. Министерство транспорта Российской Федерации, проект «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года».
2. Красов Н.В. Стальные шпунтовые сваи в портовом гидротехническом строительстве. - М.: Транспорт, 1982. -134 с. 15 стр.
3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. Пособие/ М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др., под ред. А.А. Берлина. -СПб, Профессия, 2008. -560с., ил. 9-12 стр.
4. Yixin Shao and Jayasiri Shanmugam, Moment Capacities and Deflection Limits of PFRP Sheet Piles, Journal of composites for construction, ASCE / November/December 2006
5. Karen Wood, Pultruding polyurethane Sheet pilings break boundaries, Journal of Composites technology, April 2013.
6. <http://www.rosbereg.ru/beregoukreplenie.php?sid=11>
7. <http://www.rosbereg.ru/beregoukreplenie.php?sid=23>
8. <http://www.rosbereg.ru/beregoukreplenie.php?sid=10>

APPLICATION OF COMPOSITE SHEET PILE IN HYDRAULIC ENGINEERING

E.A. MENSHIKOV, *postgraduate student*
I.A. RUMYANTSEVA, *Ph.D. prof.*
MSAWT, Moscow, Russia

The development of polymer composite materials for the last 50 years is allowed us to use it widely in hydraulic engineering nowadays. Actually, the introduction of composite materials in hydraulic structures is the main task because of their high ratio strength to weight and resistance to corrosion. The aim of this study is to review scientific literature about using of composite sheet piling in hydraulic engineering and to determine efficiency criteria's.

KEYWORDS: composite material, sheet pile, hydraulic construction, corrosion.



О НЕДОСТАТКАХ ЗАМЕНЫ ВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК ТИПА Н-30 НА НАГРУЗКИ ТИПА АК

Р.М. МАМУТОВ, аспирант

Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический
Университет, Москва, Россия
mamutovrm@gmail.com, тел.: +7 926 650-27-10

Работа посвящена выявлению результатов замены реальных временных вертикальных нагрузок типа Н-30 на автодорожные и городские мостовые сооружения на условные нагрузки типа АК, не имеющих очевидной связи с реальными нагрузками, указаны выявленные недостатки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: временные вертикальные нагрузки типа Н-30 и АК, класс усилий, линия влияния с вершиной в начале и середине их длины.

В январе 1986 года вместо достаточно реальной нормативной нагрузки Н-30 (рис.1) на автодорожные и городские мостовые сооружения была введена условная нагрузка АК (рис.2), включающая одну двухосную тележку с нагрузкам на оси Р, равной $10K$ (т) и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью v (на обе колеи), равной $1K$ (т) при $K = 11$.

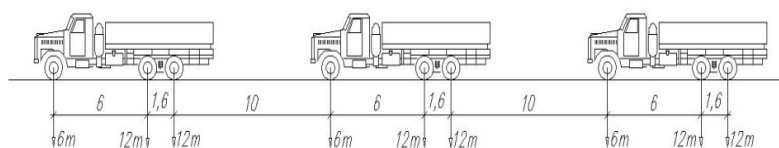


Рис.1. Модель вертикальной нагрузки Н-30 (с 1962 года)

Для выявления результатов этой замены для нагрузки Н-30 были построены графики классов нагрузки (в ед. А1) в диапазоне длин л.в. от 3м до 126 м.

Графики были построены для нормативных и расчетных нагрузок. Для нормативных нагрузок графики строились в ед. нормативной А1, для расчетных – в ед. расчетной А1.

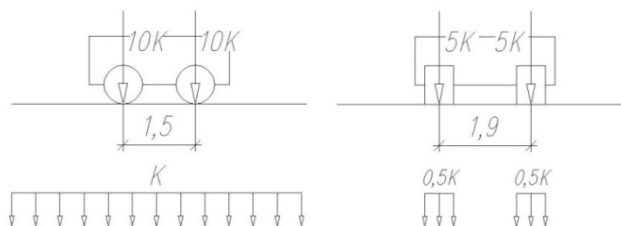
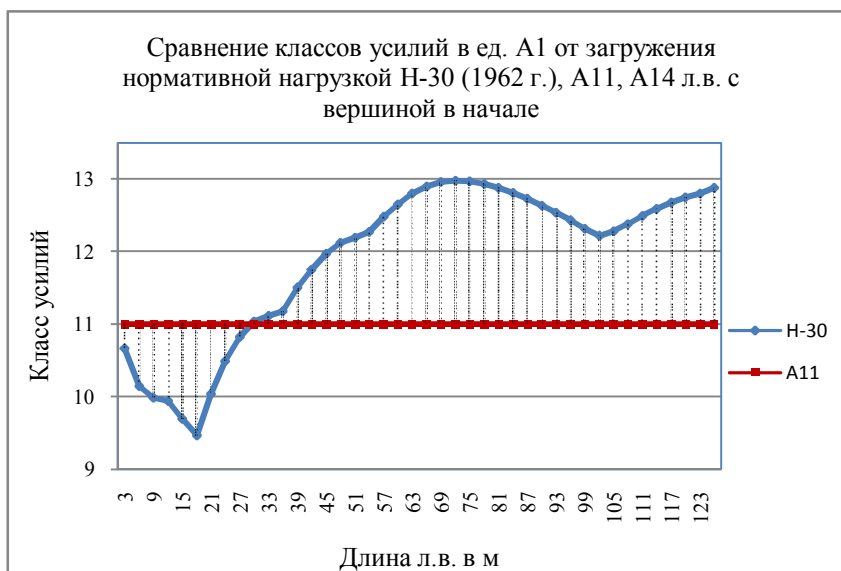
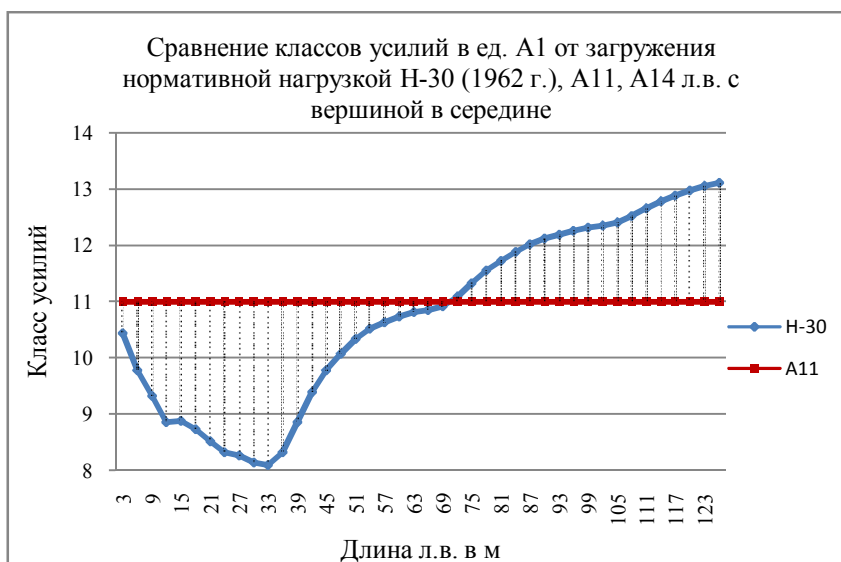
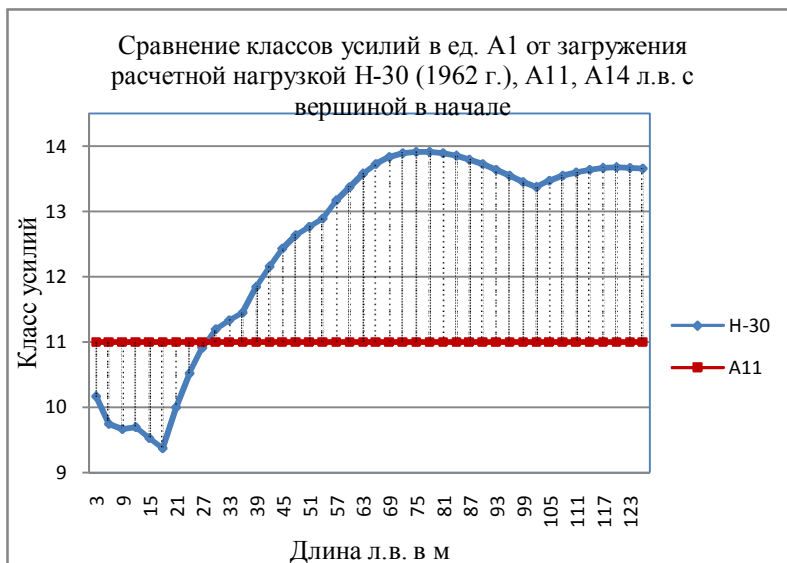
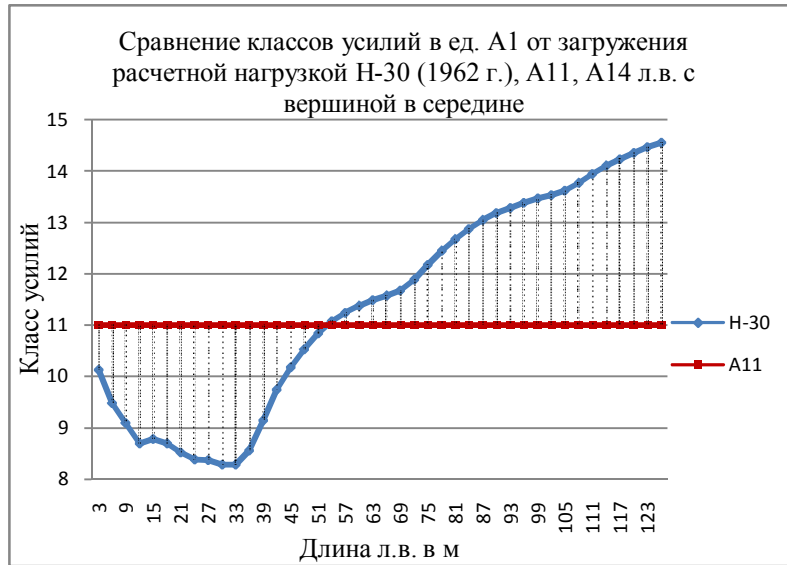


Рис.2. Модель вертикальной нагрузки АК

Графики для нормативных вертикальных нагрузок.



Графики для расчетных вертикальных нагрузок



При сравнении графиков классов усилий для л.в. с вершиной в середине и вершиной в начале установлено, что при использовании

нагрузки А11 балочные мосты малых пролетов проектировались под избыточную по сравнению с Н-30 нагрузку, а больших пролетов – под недостаточную.

В настоящее время уже используется нагрузка А14, поэтому можно утверждать, что все новые балочные мостовые сооружения проектируются под нагрузку, значительно превышающую нагрузку Н-30. При этом важно отметить, что так как нагрузка А14 не имеет очевидной связи с реальными нагрузками, то неизвестно на какие реальные нагрузки проектируются мостовые сооружения с различными пролетами. При использовании нагрузки типа Н-30 было ясно, что все мостовые сооружения и их элементы проектировались на всем известную реальную нагрузку.

Вывод: целесообразность сохранения нагрузки типа АК сомнительна по экономическим соображениям.

Литература

1. СН 200-62 Технические условия проектирования железнодорожных автодорожных и городских мостов и труб
2. СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы (актуализированный вариант 2005 г.)
3. *Васильев А.И.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование временных вертикальных нагрузок для нормирования расчета автодорожных мостов». Москва, ЦНИИС, 1972 г., с. 161.
4. *Боханова С.В.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Нормирование вертикальных нагрузок на мосты от автотранспортных средств с учетом перспективы их развития». Москва, ОАО «ЦНИСС», 2002 г., с. 241.
5. *Саламахин П.М.* Проблемы, вызывающие необходимость замены нормативных временных нагрузок АК для автодорожных мостовых сооружений. Москва, МАДИ, 2010 г., с.8

DISADVANTAGES OF REPLACEMENT H-30 TYPE LIVE LOAD TO AK TYPE LIVE LOAD

R.M. MAMUTOV, *postgraduate student*
Moscow Automobile and Roads State Technical University,
Moscow, Russia
mamutovrm@gmail.com,

It is considered results of replacement H-30 type live load to AK type live load (Russian normative live loads on bridge-type structures for road transport). The H-30 type live load is real, AK-type live load is conditional (virtual), and AK type live load has no obvious connection with real loads. Also identified disadvantages are specified.

KEYWORDS: live loads H-30 type and AK type, impact class, influence live with top in the beginning of length, influence live with top in the middle of length.



PROSPECTIVE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTION OF BRIDGES

EMIRI ANIEKAN DAFE (*Nigeria*), *Magister of Science*
Peoples' friendship university of Russia

The article discusses the benefits of bridges construction made of fiberglass on the examples of a pedestrian bridge Hyatt in San Diego and a pedestrian bridge built in the Southern District of Moscow. Such bridges have high strength, do not pass electricity, are resistant to millions cycles of loading, are not corroded, and can be assembled within a few days. Perspectives of this material usage for the construction of bridges are proved by numerous examples of such structures worldwide.

KEY WORDS: composite materials, fiberglass, bridges, strength, construction, light weight, corrosion, non-conductivity of electricity.

Composite materials have substantial advantages over traditional materials. This helps maximize the design and construction advantages of a structures. Fiber reinforced polymer (FRP) components can be manufactured by different methods, for example using pultrusion process. These high-strength FRP materials provide the bridge system with a strength-to-weight ratio greater than steel, thereby offering significant design and erection advantages over traditional materials. This article discourses the advantages for fiberglass over common construction materials. Fiberglass is a prospective building material for the following reasons: high strength, lightweight, component construction, easy installation, attractive appearance and low maintenance costs.

Standard FRP components have strengths reaching 689 MPa. Post-tensioned systems include Kevlar cables that have strengths approaching 2757 MPa. The components are light and easily carried as a typical member weighs is less than 40 kg. Pultruded fiberglass shapes generally weigh 75 - 80% less than similar steel shapes and 30% less than similar aluminum shapes.

Bridges can also be delivered on site partially assembled or fully assembled depending on the site or project requirements. Assembly is done without heavy construction equipment. Unassembled and partially assembled bridge spans are designed for quick and easy installation using standard hand tools. The project determines the installation approach. Three persons can install a typical bridge spanning less than 15 m during one day. Longer spans usually require additional workers and 2 or 3 days depending on the span length of the bridge and specific site conditions.

Fiberglass bridges have attractive appearance they are early designed using visually any color. The color is already in the composite, so it does not require any painting. Project can be custom-engineered with signed/sealed CAD drawings and a complete finite element analysis (FEA). FRP/Kevlar testing program

has received support from many sources in USA that include the National Science Foundation (NSF) and the Federal Highway Administration (FHWA).

Fiberglass bridges require low maintenance costs. Traditional materials deteriorate in harsh environments. Unlike metal and wood FRP will not rust nor rot. Wet locations, termites, salt and most chemical environments have little or no effect on the material. FRP composites are electrically non-conductive and easy to clean.

Hyatt Island Pedestrian Bridge (fig. 1) is has length 20m and width 2m. It was installed in downtown San Diego where there is harsh saltwater environment. A typical prefabricated steel bridge would be subjected to corrosion so



Fig. 1. Fully assembled 20m bridge

fiberglass bridge system was used instead. The pedestrian bridge had to be fully assembled in the shop before applying the clear coat finish. The bridge was delivered to the site fully assembled. At the site, the teak railing and IPE decking were installed. Installation was completed in 2 days.

Design Specifications of Hyatt Pedestrian Bridge: shipped assembled, stainless steel bolts, straight end design, standard dead load camber, stainless steel mounting clips, design live load = 0.448 MPa, 13 m handrail height above decking, Fiberglass support trusses (two diagonals/panel), custom white colour with urethane clear coat finish, horizontal safety midrails providing 1.2 m max. opening.

The first fiberglass bridge in Russia (fig. 2) is located on the South of Moscow near the railway station Chertanovo (2004). The bridge consists of 3 spans that are installed on the four pillars. Its length is 41.1 m, width - 3 m. The assembly of each flight took 10 days, and the installation of the whole structure on a site - less than a day.



Fig. 2. Fiberglass bridge near the railway station Chertanovo, Moscow

Chertanovo fiberglass bridge was developed and produced using a special machine (a drum which is heated to 200°C and mixed with glue, liquid plastic

components and glass fittings). The mixture is then poured into a special shape of the desired size. The bridge has perfectly withstood not only a given load (560 kg per 1sq.m.) but also a significant overload (800 kg). This bridge was built of composite materials and designed to withstand multimillion cycles' loads from the passage of freight and pedestrians, local trains. In future, this bridge will be covered, as well as equipped with heating for the winter period.

The advantages of this bridge are in its lightness, durability and ease installation. Besides, the surface of the bridge was treated with a coating thickness of 2 mm, consisting of a mixture of glue and sand, which increases its stress resistance up to 4.5 times as compared with concrete. Thus, in contrast to metal and concrete, they do not corrode, and are not affected by acid salts.

It is obvious that using fiberglass for bridges of small spans and especially for pedestrian bridges has a lot of benefits and perspectives. It was proved for many times by the hundreds of such bridges that were built all around the world.

References

1. Шамбина С.Л. Анизотропные материалы и особенности расчета конструкций из них/ Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2005, №1. –М.: Изд-во РУДН, 2005. - С. 113 – 118.
2. Olodo E.T., Adjovi E.C., Shambina S.L. Experimental analysis of the rupture of polyester-wood composite under dynamic loading / Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013, No.4 –М.: Изд-во РУДН. – С. 73 – 79.
3. INT5M1111© Strongwell Journal 2011 Fiberglass Building Solutions.
4. http://www.ettechtonics.com/pedestrian_and_trail_bridges/case_studies/hyatt_islandia_pedestrian_bridge.php.
5. <http://www.bpn.ru/publications/1999/>
6. http://www.plastics.ru/index.php?lang=ru&view=news&category_id=28&entry_id=187

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ

ЕМИРИ АНИЕКАН ДАФЕ (Нигерия), магистр
Российский университет дружбы народов

В статье рассматриваются преимущества строительства мостов из стеклопластика. Такие мосты прочны, выдерживают многомиллионные циклы нагрузок, не подвержены коррозии, могут быть смонтированы в течение нескольких дней. Перспективность применения таких материалов для строительства мостов доказана многочисленными примерами строительства таких сооружений по всему миру.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стеклопластик, мосты, прочность, конструкция, легкий вес, коррозия, непроводимость электричества.



ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

ADEGOKE MURITALA ADEDAPO (Nigeria), postgraduate student
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Construction of buildings has been responsible for at least 35% of energy use in many countries. The high demand for energy usage with global standards of living is ascending, these results to several challenges on resources and capacity. It is necessary to improve the construction techniques and approaches and engineers are tasked with finding solutions to this problem. Advanced materials have been developed to for construction of energy efficient buildings to accommodate the need reduce energy consumption and to preserve the environment.

KEYWORDS: advanced materials, technologies, energy efficient buildings, durable building materials.

Many years ago, researchers have been studying the finest technique for achieving optimal energy efficiency. Now engineers possess an enormous selection of materials, components, usage and techniques. The quality effort in energy efficiency produced good materials, which have always been trademark of a well-built structure. Understanding of how the structural system of energy efficient building is vital, knowing the appropriate way to integrate all of the structural elements and understanding the network and interaction is indispensable in order to produce a high performance building.

Advanced materials and technology in construction is an alternative to the existing building techniques. This minimizes the environmental impact in such a way that it saves energy, water, and lessens pollution emissions. The building technology uses a system of approach which has an overall environmental impact on the structure. These materials are produced using environmentally friendly processes which include: recovered products, recycled materials, certified wood products, products from renewable materials, materials that don't release harmful pollutants, and especially durable building materials.

Various energy efficient materials have been researched however, discussion will be based on: cool roofs structural insulated panels, and insulating concrete forms.

1) Cool Roofs. These are roofs that are designed to maintain a lower roof temperature than traditional roofs while the sun is shining. Sunlight is the fundamental factor that causes roofs to become very hot. Cool roofs have surfaces that reflect sunlight and emit heat more efficiently than hot or dark roofs, keeping them cooler in the sun. In other words, hot roofs absorb much more solar energy than cool roofs, making them hotter. Since most dark roofs absorb 90% or more of the incoming solar energy, the roof can reach temperatures higher than 66° C when it's warm and sunny. Higher roof temperatures increase the heat flow into the building, causing the air conditioning system to work harder and use more energy in summertime. However, light-coloured roofs absorb less

than 50% of the solar energy, reducing the roof temperature and decreasing air conditioning energy use.

A cool roof is also advantageous to a house owner in numerous ways. Cool roofs can reduce energy bills by decreasing air conditioning needs, improve indoor thermal comfort for spaces that are not air conditioned, and decrease roof operating temperature, which may extend roof service life.



Fig.1. Source: fullcover-roofing.com

In various circumstance, cool roofs cost about the same as non-cool alternatives. The energy cost savings you can realize from a cool roof depends on various considerations, including local climate; the amount of insulation in the roof; how the building is used; energy prices; and the type and efficiency of the heating and cooling systems.

Cool roofs can also be valuable to the environment and lawmakers; this can provide solution to environmental issues that will benefit to society. Cool roofs can lower the local air temperature, which improves the air quality and slows smog formation; reduce peak electric power demand, which can help prevent power outages.

The installation of cool roofs depend on several factors, including its type, size, complexity, method of attachment, and building location. Nevertheless, in situation where new roofs are required for installation, cool roof alternatives are usually more costly or slightly more expensive than similar non-cool alternatives. It is often required to have feasibility studies of the region and conduct material test before installing cool roofs, which may lead to raise in cost of construction.



Fig.2. Source: fullcover-roofing.com

The maintenance of cool roof is comparable to non-cool roofs.

Over time, dirt accumulation on the roof may reduce solar reflectance. The manufacturer's cleaning recommendations should be followed in order to avoid improper cleaning (e.g., power washing, harsh chemicals) could damage your roof.

In warm climates, moist locations, cool roof surfaces can be easily affected by algae or mould growth than hot roofs. This is not a major problem, but it can

look bad and reduce the roof's reflectance. Some roof coatings (fig. 2) include special chemicals that prevent mould or algae growth, and these can last for a few years.

In cold climates, roofs can accumulate moisture through condensation, and this may eventually lead to material degradation. Moisture control in cold climates is an important part of any roof's design. It is possible, though not yet proven, that cool roofs might be more susceptible to accumulating moisture than dark roofs of the same design. This can be avoided using proper design techniques.



Fig.3.Source:Normanton.co.uk

2. Structural insulated panels (SIP) are a composite building material. They consist of an insulating layer of rigid core sandwiched between two layers of structural board (fig. 3). The board can be a sheet of metal, plywood, cement or oriented strand board (OSB). They share the same structural properties as an I-beam or I-column. The rigid insulation core of the SIP acts as a web, while the sheathing fulfils the function of the flanges. SIP combine several components of conventional building, such as studs and joists, insulation, vapour barrier and air barrier. They can be used for many different applications, such as exterior wall, roof, floor and foundation systems.

Structural insulated panel is a high performance building system for residential and light commercial construction. The panels consist of an insulating foam core sandwiched between two structural facings, typically oriented strand board (OSB). SIP is produced under factory controlled conditions and can be fabricated to fit nearly any building design. The result is a building system that is extremely strong, energy efficient and cost effective.



Fig.4. Source: Buildipedia.com

Structural insulated panels have turn out to be widely used alternative to construction materials for homes and other buildings (fig 4). SIP is obtainable with a core of agriculture fibres (such as wheat straw) that offers similar thermal and structural performance. The result is an engineered panel that provides structural framing, insulation, and exterior sheathing in a solid, one-piece component.

Panel manufacturers often use a continuous lamination machines in the production of panels, which automate forming and cutting according to dimen-

sions transferred from digital floor plans. Various dimension of panels can be easily transported to the construction site, the panels can be rapidly assembled by workers without extensive training. Structural insulated panels' construction allows builders to quickly construct an exterior building frame that is strong, airtight, and energy efficient.

The key design idea for Structural insulated panel is elegant in its simplicity, and offers several advantages for constructing walls and roofs. With the capacity to handle axial, bending, racking, and shear loads, properly designed and assembled Structural insulated panel not only replace conventional framing, but will withstand high wind, and seismic forces.

Structural insulated panels resist extreme weather condition such as: fire, tornadoes, earthquakes, and hurricanes. Regions prone such harsh weather condition often report cases of destroyed homes every year. However, houses built with structural insulated panels have survived such disaster with little-to-no structural damage. It was reported that 200 mph winds extreme tornadoes in Tennessee USA (fig.5). Homes with structural insulated panels have repeatedly withstood against the force of nature. These advanced materials guaranteed more durability and energy efficiency than found in stick built homes.



Fig.5. Source: www.acmepanel.com

In January 1995, a severe earthquake (7.2 on the Richter scale) destroyed a Japanese city of Kobe with over one million people living in the city. Elevated highways (designed to withstand earthquakes) collapsed, railways were ravaged, and the whole blocks of houses were ruined. More than 5,000 died and hundreds of thousands were left homeless. The remarkable strength of structural insulated panels were designed to withstand typical loads caused by seismic activity and high winds.

Structural insulated panel production is a very significant factor to be weighed in before obtaining the panel. The quality of its fabrication will determine how long the structural panel will last and the level of performance. It is vital to know the fabrication process of the structural panel and how the surface panel was gummed or glued to the insulation material. Improper gluing can separate and reduce its performance. The types of Structural insulated panels are:

1. Expanded Polystyrene Insulated Panels
2. Polyurethane or Polyisocyanurate Insulated Panels
3. Compressed Straw Core Insulated Panels

Structural insulated panels have the following advantages:

- Using SIP higher R-values can be obtained;
- Higher strength-to-weight ratio;
- The insulation offered by SIP is superior when compared to studs or traditional construction methods;
- SIP can offer energy savings between 12% to 14%;
- Using SIP a more air-tight unit can be build, resulting in a quieter and more comfortable structure;
- SIP are extremely strong, energy-efficient and offer a cost-effective alternative;
- SIP will save you money with a faster construction method;
- Reduced amounts of waste and labour;
- SIP will produce less expensive heating and cooling equipment inside the structure;
- SIP produces flatter surfaces to work with;
- No need to look for studs to place fasteners;
- No curvatures due to drying of the material
- Can be treated against insects;
- Structural Insulated Panels can be used in walls, ceilings, floors and roofs;
- Structural insulated panel wall systems were adopted into the International Residential Code (IRC) on May 22, 2007.

3. Insulating concrete forms. The Insulating concrete forms (ICF) building technique was developed first in Europe following World War II as an economical and long-lasting approach to rebuild destroyed buildings. The approval of ICF construction has gradually spread since the 1970s, although it was initially hindered by lack of awareness.

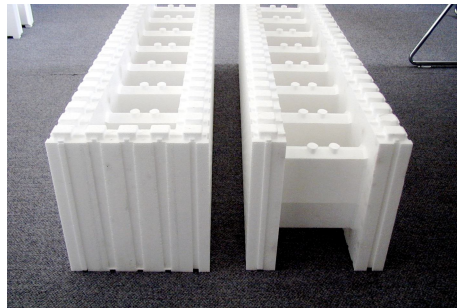


Fig.6. Source: arch tangent.com

Insulating concrete forms (fig. 6) can be constructed by cast-in-place concrete walls that are inserted between two layers of insulation material. These insulating concrete forms systems offered performance benefits like strength and energy efficiency. Common applications for this method of construction are low-rise buildings, with property uses ranging from residential, commercial and also industrial buildings. Traditional finishes are applied to interior and exterior faces, so the buildings look similar to typical construction, although the walls are usually thicker. Insulating concrete forms

are forms used to hold fresh concrete that remain in place permanently to provide insulation for the structure they enclose.

Insulating concrete forms have the following benefits. They provide long-term value environment in several ways, the concrete consists of common materials that are found abundantly in many average home. Concrete gets stronger with age. The polystyrene foam does not support moisture; therefore moulds and bacteria cannot grow. The concrete will withstand a wildfire or earthquake, and will still be standing after a tornado or hurricane hurls debris at it. Its durability will keep you secure in all types of natural disasters.



Fig. 7. Source: www.quadlock.com

Installation of insulating concrete form systems is similar to masonry construction (fig. 7). Builders usually start at the corners and place a layer at a time to build up the wall. Some units, particularly those that form a “waffle” or post-and-beam concrete wall profile must be glued together or taped at the joints during assembly. Most systems today feature uniform cavities that improve flow ability of the concrete, reduce the need for adhesives during stacking, resulting in flat concrete walls of consistent thickness.

Insulating concrete form systems are compatible with concrete floors, and wood or steel floor joists. In smaller buildings, ledger assemblies for floor framing attachment mounted to the side of the formwork are common. In larger buildings or those for commercial uses, steel weld plates or bolt plates can be preinstalled within the formwork so they become embedded in the fresh concrete. This is the potential for reducing energy to heat and cool the building. Some estimates place the savings at 20 percent or more. The walls can often have high air tightness 10 to 30 percent better than frame-with compatible windows, doors, and roof.

Conclusion:

The objective for developing the specific materials used in construction, infrastructure, and manufacturing are to ensure energy efficiency. There are adequately bases on a scientific foundation that addresses advanced materials issues. The methods for solving problem from the perspective energy consumption by developing energy efficient buildings. Real life situations were sited at reference in terms of performance measurement and durability, these materials have been proven durable, to with withstand the force of mother nature, even in severe natural disasters. These are the primary goals-to improve building operations, to achieve energy efficiency, occupant comfort, and safety by clearing technical hurdles that impede widespread use of intelligent building systems.

References

1. Energy Efficient & Renewable Energy, Building Technologies Program, "Guidelines for selecting cool roofs" Vol. 1.2, 2010.
2. Taylor, S.B, Manbeck, H.B, Janowiak, J.J, Hiltunum, D.R. "Modeling Structural Insulated Panel (SIP) Flexural Creep Deflection." J. Structural Engineering, Vol. 123, No. 12, December, 1997.
3. Olodo E.T., Adjovi E.C., Shambina S.L. Experimental analysis of the rupture of polyester-wood composite under dynamic loading / Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013, No.4 –М.: Изд-во РУДН. – С. 73 – 79.
4. Ron Judkoff, (National Renewable Energy Laboratory, USA), "Increasing Building Energy Through Advanced Materials" Vol. 33, April, 2008.
5. Juan Rodriquez, "Structural insulated panels: Types and benefits", <http://construction.about.com/od/Materials/a/Structural-Insulated-Panels-Benefits.htm>
6. Home Front, Inc. <http://www.homefronthomes.com/>
7. U.S. DOE: Energy Efficiency and Renewable Energy - Structural Insulated Panels. <http://www.eere.energy.gov/consumerinfo/factsheets/bd1.html>
8. <http://www.BuildingGreen.com>
9. <http://www.toolbase.org/Building-Systems/Whole-House-Systems/structural-insulated-panels>
10. <http://www.acmepanel.com/sips-vs-mother-nature.asp>
11. Josh Hogue, "Insulating Concrete Forms: Beyond Concrete", October, 2014. <http://www.greenlivingjournal.com/page.php?p=1000198>

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

АДЕГОКЕ МУРИТАЛА АДЕДАПО (Нигерия), аспирант
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

С возрастанием уровня жизни во всем мире, увеличивается потребность в энергоресурсах, что приводит к ряду проблем. Необходимо совершенствовать методы и технологии строительства, и инженеры призваны решить эти проблемы. Современные материалы были разработаны для строительства энергоэффективных зданий, которые должны решить задачу снижения потребления энергии и способствовать лучшей защите окружающей среды. В статье рассматриваются современные и материалы и технологии для решения поставленной задачи.

KEYWORDS: *современные материалы, технологии, энергоэффективные здания, прочные и долговечные строительные материалы.*



**Российский университет дружбы народов
Peoples' Friendship University of Russia**

**Международная молодежная научная
конференция
«Прочность, ползучесть и разрушение
строительных и машиностроительных
материалов и конструкций»**

Секция 3

*Студенты об актуальных вопросах
инженерной механики*

*Students on actual problems
of engineering mechanics*

20 ноября 2014 год

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

И. КОМАРОВА, студент

Российский университет дружбы народов, Москва

Рассматриваются существующие способы защиты металлоконструкций строительного назначения от воздействия на них пожара, что требуется нормами по защите сооружений от прогрессирующего разрушения. Анализируются возможности и недостатки различных средств обеспечения огнезащиты стальных конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прогрессирующее разрушение сооружений, защита металлоконструкций от огня, огнезащитные материалы, конструктивные методы защиты от огня, теплоизолирующий экран.

Бесспорно, что пространственные стержневые стальные большепролетные структуры и сооружения рамно-каркасного типа из стальных балок, прогонов и колонн при своем незначительном весе имеют большую прочность и легко монтируются из отдельных элементов. Они нашли широкое распространение в последние десятилетия по сравнению с железобетонными сооружениями, особенно в промышленном и сельскохозяйственном строительстве, а также при строительстве сооружений торгового, складского и гаражного строительства [1]. Этому способствовало также появление таких конструкций как стеновые и крышные сэндвич-панели [2]. Но учитывая требования строительных норм, все стальные конструкции нуждаются в защите не только от коррозии, но от воздействия на них пожара.

Защита металлических конструкций от огня может осуществляться следующими способами:

1. *Нанесением огнезащитных составов:* красок с эффектом вспучивания или невспучивающихся красок или лаков.

Одним из самых эффективных средств огнезащиты является применение краски, вспучивающейся при достижении температурной отметки в 120°C. Она образует пористый слой, обладающий превосходными теплоизолирующими свойствами. Специальные составы, наносимые на металлоконструкции, создают на поверхности теплоизолирующий слой, препятствующий нагреванию металла.

Составы, которые сегодня наиболее часто применяются для огнезащиты металлических поверхностей и конструкций, производят в соответствии с ТУ и требованиями по разным позициям. В частности, для того, чтобы защитить воздуховодные и приточно-вытяжные системы, применяют краски типа Файррекс. Состав покрытия в данном случае выполнен на основе неорганических веществ, а реакция на огонь ожидаема: вспененный

слой с термоизолирующим воздействием. Чтобы защитить металл, покрытый грунтовкой необходимо применять краску с высокими огнезащитными показателями, образующую вспененный слой. Она выпускается в двух цветовых вариантах – белом или сером.

- *Нанесение составов*

Современный рынок строительных материалов значительно расширил за последнее время список применяемых для огнезащиты методов. Среди них - окраска конструкций огнезащитными красками. На поверхность металла наносится несколько слоев огнезащитного покрытия, обработанная поверхность не только эффективно сопротивляется воздействию пламени, но и имеет декоративные характеристики. Окрасочные составы выпускаются различных цветов и оттенков.

Окрашенная конструкция может также облицовываться штучными отделочными материалами.

Считается, что одна из самых эффективных технологий огнезащиты металла – это применение специальной вспучивающей краски. Механизм ее действия прост и понятен: при достижении температурой отметки в 170°C краска образует вспученную массу, вследствие чего на поверхности металла тут же создается пористый слой с высокими термоизолирующими качествами.

2. *Применением огнезащитных материалов:* листовых материалов, огнезащитных плит (экранов) и контактных огнеупорных смесей

Прекрасные результаты демонстрирует использование специальных экранов, выдерживающих не только экстремальные температуры, но и непосредственный контакт с языками пламени. Теплоизолирующий экран – высокоэффективное средство.

3. *Конструктивными методами:* бетонированием, оштукатуриванием или обкладкой кирпичом.

Преимущество конструктивных методов заключается в том, что они не только препятствуют распространению огня в случае пожара и повышают огнестойкость металлоконструкций, но позволяют достичь тепло-, шумо- и гидроизоляции помещения.

В случае использования того или иного метода можно практически безошибочно просчитать время, необходимое в том или ином случае для того, чтобы конструкция из металла не разрушилась и, тем самым, дала произвести эвакуацию людей или оборудования и прочие необходимые действия.

Наиболее популярным способом защиты против огня является также обработка металлоконструкций красящими или некрасящими составами. Наиболее распространенными считаются: обкладка конструкции специальными растворами, включающих цемент и песок; обкладка сооружения огнеупорным кирпичом; отделка постройки штукатуркой, содержащей

компоненты способные давать отпор натиску пламени; полное бетонирование металлоконструкции.

Традиционно металлоконструкции защищаются от воздействия огня путем оштукатуривания их поверхности растворами на основе цемента, облицовки гипсокартонными плитами и асбестом. Такая огнезащита позволяет увеличить предел огнестойкости металлических конструкций до 30 - 240 минут в зависимости от толщины слоя и приведенной толщины металла.

- *Бетонирование или облицовка кирпичом*

Данный способ огнезащиты металлоконструкций используется тогда, когда необходимо усилить здание или сооружение. К недостаткам бетонирования или облицовки кирпичом относятся: увеличение нагрузки на фундамент, сложность в создании и ремонте. Помимо этого, кирпичную защиту от огня и высоких температур можно использовать только на вертикальных плоскостях. Укладка же бетона на горизонтальную плоскость связана с большими трудностями и материальными затратами. Плюсам такого типа огнезащиты конструкций из металла являются: устойчивость кирпичной кладки и монолитного бетона к механическим и атмосферным воздействиям, а также дешевизна этих материалов.

- *Огнезащитные материалы*

Действие теплозащитных и теплопоглощающих экранов основано на способности веществ, из которых они изготовлены, продолжительное время ограничивать воздействие высоких температур на металлические конструкции. При этом механизм функционирования таких изоляционных материалов может быть разным: некоторые из них способны долго сохранять физическую структуру и форму при критическом нагревании, а другие, напротив, трансформируются в пористые коксообразные покрытия с высокой изолирующей способностью.

В современном строительстве активно применяются иные, новые способы защиты металлоконструкций от огня. Эти способы защиты предусматривают механическое нанесение легких заполнителей или облегченных материалов, которые отличаются повышенными теплоизоляционными качествами (минеральное волокно, вспученный перлит, вермикулит). Помимо этого для защиты металлоконструкций от огня применяют плитные и листовые теплоизолирующие материалы, такие как гипсокартонные, гипсоволоконистые листы, перлитофосфогелевые плиты.

- *Огнезащитные экраны, плиты и маты*

Относительно новый и достаточно эффективный способ защиты металлоконструкций зданий и сооружения с помощью экранов, плит и матов имеет два существенных недостатка. Во-первых: материалы для огнезащиты интенсивно поглощают влагу, поэтому требуют водонепроницаемого покрытия. Во-вторых: использование экранов, плит и матов возможно

только на ровных поверхностях. Помимо этого, такие материалы отличаются большой толщиной, что сокращает полезную площадь помещений при их использовании для внутренних работ. К положительным моментам использования огнезащитных экранов, плит и матов относятся: поглощают звук и вибрацию, а также имеют отличную ремонтпригодность — при необходимости часть поврежденной огнезащитной облицовки можно заменить на новую.

Широкое применение нашла огнезащита из перлитовых и вермикулитовых плит. Перлит и вермикулит обладают низкой теплопроводностью, что позволяет им эффективно защищать металлоконструкцию от температурного воздействия пожара. Облицовочные плиты легко обрабатываются - их раскрой производится ручным инструментом на месте монтажа. Подогнанные под размер конструкции плитки крепятся к защищаемой поверхности на специальном огнеупорном клеевом составе. Поверхность конструкции декорируется штучными отделочными материалами. Плиты из перлита и вермикулита рекомендуется применять для огнезащиты конструкций внутри помещений - это обуславливается их обильным водопоглощением. Намокшая плита из перлита или вермикулита теряет свои прочностные и эксплуатационные характеристики.

Широкое распространение стальных конструкций для сооружений различного назначения обязательно будет стимулировать научно-исследовательские работы по созданию принципиально новых огнезащитных материалов, вероятно и с использованием нанотехнологий.

Литература

1. *Кривошапко С.Н.* Металлические ребристо-кольцевые и сетчатостержневые оболочки XIX-го – первой половины XX-го веков// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – № 6. – С. 4-15.
2. *Кривошапко С.Н., Галишикова В.В.* Архитектурно-строительные конструкции: Учебник. – М.: Изд-во «ЮРАЙТ», 2014. – 476 с.

THE METHODS OF GUARANTEEING OF FIRE BARRIER FOR METAL STRUCTURES

I. KOMAROVA

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

The existing methods of protection of metal structures for building purpose being under action of a fire are presented. Opportunities and short-coming of different means of ensuring of fire barrier of steel structures are analyzed.

KEYWORDS: progressing failure of erections, fire barrier of metal structures, fire curtain material, constructive methods of fire barrier of steel structures, thermal screen



ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Л.А. МИТЬКОВЕЦ, *студент*

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Статья посвящена применению энергосберегающих технологий в органической архитектуре. В ней делается попытка объединить столь актуальную в настоящее время тему энергоэффективности и современный стиль био-тек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: органическая архитектура, конструкции, прочность, энергоэффективность, эко-строительство

Современная архитектура часто страдает от избытка агрессивности форм и динамичности построек. Человек устает от серости мегаполиса, высоких небоскребов, постоянной спешки. Чтобы решить эту проблему, воссоздать жизнь в гармонии с природой, сформировать максимально комфортные условия пребывания человека в городской среде, в архитектуре появился, ставший популярным сейчас, стиль био-тек, созданный на основе бионики. С его помощью архитекторы внедряют свои постройки в окружающую среду так, чтобы они не конкурировали с ней, а являлись неотъемлемой ее частью.

В тоже время человечество нуждается в сбережении ресурсов природы, поэтому широкое распространение сейчас имеет повсеместное внедрение в архитектуру и строительство энергоэффективных технологий. Энергосбережение - одна из приоритетных задач, что связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами. Экономия энергии - это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь (до 90 %) приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9 – 10 %. Поэтому основные усилия по энергосбережению должны быть сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям и использованию разумных энергоэффективных ресурсов, т.е. новым или усовершенствованным технологическим процессам, которые имеют более высокий коэффициент полезного использования топливно энергетических ресурсов (ТЭР).

Внедрение энергосберегающих технологий в хозяйственную деятельность как предприятий, так и частных лиц на бытовом уровне, является одним из важных шагов в решении многих экологических проблем - изменения климата, загрязнения атмосферы (например, выбросами от ТЭЦ), истощения ископаемых ресурсов и др.

В свою очередь, хотелось бы дать анализ самым, на мой взгляд, широкоиспользуемым и наиболее популярным ресурсам, которые используются в эко-строительстве, для экономии энергии:

Древесина - возобновляемый природный ресурс. Изделия из нее относятся к низкоэнергоемким материалам. Обработка, использование, утилизация отходов и восстановление древесины легко организуются в замкнутый безотходный цикл. Более того, все отходы древесины нетоксичны. Для России - это самый дешевый стройматериал. Организация устойчивых процессов, состоящих из выращивания древесины, производства деталей и конструкций из нее и сооружения в дальнейшем из этих материалов энергетически эффективных домов, - это путь к устойчивому развитию домостроения. Конструкции с несущим каркасом из древесины, заполненные утеплителем типа минеральной ваты, с внутренней отделкой из огнестойких гипсолитовых плит - наиболее эффективный способ использования древесины.

Естественные камни обладают высокой прочностью, морозостойкостью, влаго- и теплостойкостью. Используются для кладки и отделки цоколей домов и наружных стен, обеспечивая при этом высокие прочностные характеристики. Наружные стены из камня могут быть утеплены легким утеплителем, что позволяет добиваться необходимых теплотехнических характеристик при меньшем расходе материалов. Большая долговечность естественного камня выводит его на первое место по величине энергии его полного жизненного цикла, которую можно приравнять к энергии его производства, транспортировки и строительства при незначительных удельных расходах на поддержание и захоронение каменных материалов из-за большого срока эксплуатации конструкций из них.

В области строительных материалов и проектирования ведутся исследования по созданию материалов повышенной прочности, легких конструкционных материалов, которые вместе с тем являются надежными и долговечными. В практику внедряются новые виды сталей, в том числе арматурных, высокопрочные бетоны, новые способы обработки древесины, улучшающие ее долговечность. Очевидно, что главной задачей является создание таких строительных материалов, которые приводят к снижению материалоемкости конструкций (снижению веса за счет повышения прочности свойств материалов).

В области железобетонных конструкций идет поиск резервов по снижению веса конструкций за счет увеличения прочностных и улучшения других свойств бетонов и арматуры. Высокопрочные бетоны достигают прочности чугуна, а некоторые пластобетоны с использованием полимеров в лабораторных условиях достигают прочности сталей.

В области деревянных конструкций отдается предпочтение клеевым конструкциям, которые позволяют формировать сложное сечение и форму. В большепролетных сооружениях деревянные конструкции, благодаря малому весу, способны конкурировать с металлическими и железобетонными. Деревянные конструкции не имеют себе равных при сооружении складов для хранения химических агрессивных веществ.

Изучив некоторые материалы по данной теме, хотелось бы рассмотреть конструкции с внедрением энергоэффективных технологий и применением эко-ресурсов на примере органической архитектуры.

Венчальная часовня Хошино (рис.1), расположенная в японской провинции Каризава. Она расположена в предгорье вулкана, в окружении древних сосен. Здесь из скалы органично вырастают спиральные стены гигантской улитки венчальной часовни Хошино. До нашего времени эта часовня считается самой престижной и известной органической постройкой в мире.

Вход часовни расположен к югу, что дает возможность создавать ровное солнечное освещение интерьера. Солнечный свет максимально используется и для обогрева. Полы в часовне из мрамора. Холодный камень подогревается с помощью систем труб водного отопления. Железобетонные оконные арки имеют тройное остекление, благодаря чему здание весьма энергоэффективно.



Рис.1



Рис. 2



Рис.3

Дом Иена (рис.2) уникален в своем роде. Он состоит из трех уровней, которые, скручиваясь как штопор, ввинчиваются в окружающий пейзаж. Со всех уровней открывается по-настоящему захватывающий дух вид на Тихий океан и окрестности. Крышу архитектор разработал таким образом, чтобы дом был практически независим от любых внешних систем электроснабжения. Для этого он обеспечил ее максимальным покрытием солнечными батареями. Кроме этого, дом обладает эффективной системой звукоизоляции и поэтому практически полностью изолирован от шумов, проникающих из внешнего мира. В интерьере дома используется только высококачественная древесина.

Изящный дом в пустыне Калифорнии, (рис.3) на одном из склонов огромной скалы обволакивает камень, как крылья гигантской доисторической птицы. 26 изящных крыльев укрывают дом в стиле юрского периода. Между крыльями установлены стеклянные «перепонки», которые используются для освещения и отопления здания. Дом не только энергоэффективен, но и может выдерживать значительные землетрясения.

Когда рассматриваешь сооружение органической архитектуры, складывается впечатление, что постройка не имеет правильной геометрии. Здание имеет природные формы, которые способны разбудить лучшие человеческие чувства, стимулировать всплеск воображения.

Органическая архитектура следует законам природы. Ее формы часто противоречат законам геометрии. Каждый элемент органической (бионической) архитектуры можно рассматривать как организм, развивающийся в соответствии с законами своего собственного, уникального, существования, своего особого порядка, с законами гармонии с функциями и окружением, так же как развиваются любые живые организмы.

В данном направлении архитектуры решительно отвергается архитектура-дизайн, которая способна быть универсальной, подходящей под любую местность. Архитекторы «органики» беспрекословно чувствуют, что каждое здание должно быть уникальной составной частью ландшафта, неотделимой от него. Дом становится частью организма местности.

Заключение:

Дизайн природных конструкций не идет ни в какое сравнение с попытками человека сконструировать что-либо претендующее на природную эффективность. Форма биологического объекта (например, взрослого дерева) обычно создается в результате длительного адаптивного процесса, с учетом многолетнего воздействия как дружественных, так и агрессивных факторов. Процессы роста и развития включают интерактивное регулирование на клеточном уровне. Все это в совокупности обеспечивает невероятную прочность изделия на протяжении всего жизненного цикла. Такая адаптивность в процессе формообразования приводит к созданию интеллектуальной системы. В то же время, нашей промышленности пока недоступны технологии создания интеллектуальных систем, которые взаимодействуют с окружающей средой и могут приспосабливаться, изменяя свои свойства. Таким образом, заимствуя у природы инженерные решения,

можно существенно повысить энергоэффективность современных технологий и конструкций.

Литература

1. *Сетков В.И., Сербин Е.П.* «Строительные конструкции. Расчет и проектирование», 2005. – 448 с.
2. *Губернский Ю.Д., Кулакова Т.Ю.* «Экологическая безопасность строительных материалов конструкций изделий», 2005. – 200 с.
3. <http://gia.ru/documents/20081205/156573930.html>
4. <http://www.spbenergo.com/tehno/1406-organic-architecture.html>
5. *Большая советская энциклопедия.* — М.: Советская энциклопедия. 1969—1978. – 672 с.

THE INCREASE OF THE ENERGY EFFICIENCY IN MODERN CONSTRUCTIONS IN TERMS OF ORGANIC ARCHITECTURE

L.A. MITKOVETS, *student*
People's friendship university of Russia

The article is devoted to application of energy-saving technologies in organic architecture. It is an attempt to combine so relevant now subject of energy efficiency and contemporary architectural style bio-tech.

KEYWORDS: organic architecture, construction designs, strength, Energy Efficiency, eco- building



РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОЧНОСТЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

П.В. ИГНАТОВ, *студент*
В.А. КОСМОДЕМЬЯНОВ, *студент*
Московский государственный строительный университет
129337, г.Москва, Ярославское шоссе, 26
kosmodVA@mail.ru peter.ignatow@yandex.ru

Основным методом расчета конструкций на прочность, применяемым при проектировании строительных сооружений, является метод конечных элементов. Данная работа предпринята с целью разработать программу метода конечных элементов с открытым кодом, которую можно было бы использовать как учебное пособие при изучении метода конечных элементов, с одной стороны, и как основу для выполнения студентами и аспирантами научных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод конечных элементов, современное проектирование зданий и сооружений, программа с открытым кодом.

Основным методом расчета конструкций на прочность, применяемым в настоящее время в большинстве проектных и научно-исследовательских организаций при проектировании строительных сооружений, является метод конечных элементов. Этот метод в последние годы активно внедряется в учебный процесс во многих вузах, в том числе и в МГСУ, при этом используются коммерческие программы, реализующие этот метод. Однако документация коммерческих программ, как правило, содержит лишь инструкции для пользователей и не содержит информацию о реализованных в программе методах и алгоритмах. Незнание же этих методов может привести к неправильному использованию программ и получению, вследствие этого, неверных результатов. Поэтому использование коммерческих программ мало способствует изучению метода конечных элементов как такового. Данная работа предпринята с целью исправить ситуацию и разработать программу метода конечных элементов с открытым кодом, которую можно было бы использовать как учебное пособие при изучении метода конечных элементов, с одной стороны, и как основу для выполнения студентами и аспирантами научных исследований.

В разработанной программе, названной авторами ПОЛИГОН, реализован метод перемещений. Блок-схема программы приведена на рис.1. В первой версии программы ПОЛИГОН библиотека элементов содержит только один тип элементов - шарнирный стержень. Однако алгоритм программы допускает возможность расширения библиотеки.

Теоретические основы алгоритма заимствованы авторами из работы профессора, доктора технических наук В.П. Агапова [1].

Основные этапы расчета конструкций методом перемещений в матричной форме заключаются в следующем.

1. В глобальной системе координат определяются координаты узловых точек; осуществляется их нумерация.

2. Вычисляются матрицы жесткости всех элементов конструкции в местных осях элементов. Для пространственных шарнирных стержней используется формула [1]:

$$[K_{эл,т}] = \frac{EF}{l} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где E - модуль упругости материала, F - площадь поперечного сечения, l - длина стержня.



Современные конструкции зданий и сооружений становятся все более масштабными и сложными в реализации. При этом они должны быть долговечными, удобными и безопасны в эксплуатации и быть экономичными в строительстве и эксплуатации. Для этого нужен очень точный расчет, который можно реализовать только на компьютерных моделях в различных программах. Для повышения качества расчета нужно понимать принцип работы программы, для этого и была создана программа ПОЛИГОН с открытым кодом.

Литература

1. Аганов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций. – Изд-во АСВ, М., 2005.

THE DEVELOPMENT OF THE PROGRAMM FOR STRENGTH ANALYSIS OF THE ROD SYSTEMS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

P.V.IGNATOV, V.A. KOSMODEMYANOV
Moscow State University of Civil Engineering

The basic method of calculating the strength of the structures used for the design of building structures, a finite element method. This work was undertaken to develop a program for the finite element method, open source, which could be used as a teaching aid in the study of the finite element method, on the one hand, and as a basis for of student and postgraduate for research.

KEYWORDS: finite-element method, modern methods of designing of buildings and structures, open source program.



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ А. ВЕЛЛЕРА В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

Н.М. ЗНАМЕНСКИЙ, студент
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
mr.znam@mail.ru

На протяжении долгого времени ученые и инженеры проводили исследования в области фундаментальных наук. Эти исследования были тесно связаны со строительством в различных сферах, в частности железнодорожной. В ходе строительства и широкой эксплуатации железных дорог в 19 веке, перед инженерами и конструкторами встала сложная проблема, которая основывалась на прочности и стойкости железнодо-

рожного полотна. В ходе эксплуатации поездов, железнодорожное полотно подвергалось большим нагрузкам. Зачастую, оно не выдерживало, и это приводило к быстрому выходу из строя, а иногда к катастрофам. Решить данную проблему попробовал немецкий инженер Август Вёллер. Он потратил огромное количество времени и сил, проводя систематические исследования усталости материалов. В результате проделанной работы он внёс огромный вклад не только в практическом плане в железнодорожное строительство, но и в такие фундаментальные инженерные науки как сопротивление материалов и техническая механика. В статье рассматриваются основные достижения А.Веллера в области инженерных наук.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фундаментальные науки, железная дорога, А. Веллер, усталость, сопромат, техническая механика.

Одним из самых выдающихся инженеров в исследовании фундаментальных наук был Август Вёллер. А. В. (1819-1914) родился в семье школьного учителя недалеко от Ганновера и получил техническое образование в Ганноверском политехническом институте. После окончания получил стипендию и командировку для прохождения практики на строительстве железных дорог и паровозных заводах вначале в Берлине, а затем в Бельгии. После возвращения в Ганновер он был назначен заведующим железнодорожными мастерскими в Ганновере, а затем переехал во Франкфурт-на-Одере (Германия), где стал заведовать подвижным составом на Нижне-Силезской железной дороге и где проводил исследования усталостной прочности.

Постоянство свойств материала имеет существенное значение при его практическом использовании, и в стремлении достигнуть такого постоянства А. Веллер разработал технические условия на материалы, поступающие для использования на железных дорогах. Основная работа А. Веллера по усталости металлов была выполнена им с намерением найти мероприятия, которые могли бы снизить аварийность, выражавшуюся в постоянных поломках осей подвижного состава на Нижне-Силезской железной дороге

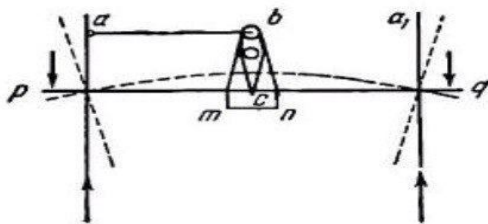


Рис. 2

[1]. Чтобы определить наибольшие значения сил, действующих на ось в эксплуатационных условиях, А.Веллер воспользовался установкой, которая изображена схематично на рисунке 1.

Часть механизма mnb крепко закреплена на оси pq , а стрелка bc с помощью шарнирного бруса ab соединена с бандажом колеса. В результате изгиба оси, показанного на схеме пунктиром, шарнир a смещается и острие c стрелки bc оставляет царапину на цинковой пластине mn . Зная наибольшие значения действующих на ось сил, А. Веллер приступил к исследованию ее прочности в условиях знакопеременного напряженного состояния. Для этой цели была сконструирована специальная машина, главной частью которой был цилиндр ab , вращавшийся в подшипниках c и d со скоростью около 150об/мин (Рис.2) [2].

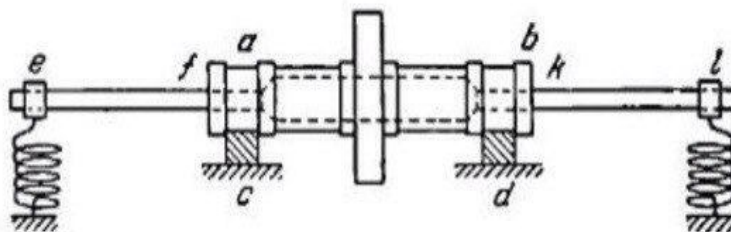


Рис. 2.Рис. 1.

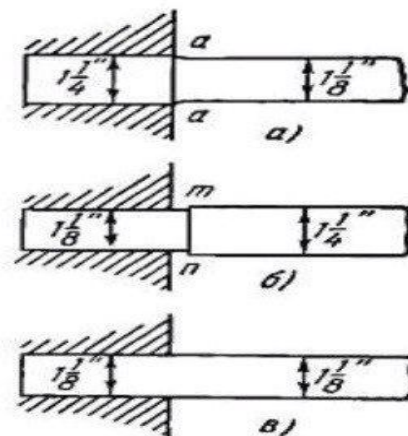


Рис. 3.

Однако для фундаментального изучения усталостной прочности металла требовалось большое количество испытаний, и А. Веллер решил для этой цели перейти от натуральных испытаний с настоящими осями железнодорожного подвижного состава к образцам меньших размеров, полученным

путем механической обработки из цилиндрических брусьев (Рис.3). Использование таких уменьшенных образцов позволило повысить скорость вращения испытательной машины приблизительно до 40000 оборотов в день. Таким образом, образцы можно было подвергать действию многих миллионов циклов напряжения. А. Веллер установил, что отрицательное влияние острых углов и резких изменений профиля может быть смягчено введением плавных переходов.

Поскольку испытания на выносливость требуют много времени и сопряжены с большими материальными издержками, Вёллер, естественно, попытался найти какие-либо зависимости между усталостной прочностью и другими механическими характеристиками материала, определяемыми при статических испытаниях [2]. Насколько можно судить, особенно он интересовался пределом упругости тех материалов, с которыми он производил усталостные испытания. Установление предела упругости по испытаниям на растяжение требует точного измерения весьма малых удлинений, пригодных же для этой цели инструментов в то время еще не существовало. Поэтому Вёллер решил определить предел упругости по испытаниям на изгиб, хотя он и отдавал себе ясный отчет в том, что этот метод не обеспечивает надлежащей точности, поскольку предельное напряжение достигается сначала самыми крайними волокнами, а начало текучести становится заметным лишь после того, как в значительной части материала напряжения уже превзойдут предел упругости.

Чтобы сделать такие измерения точными, Вёллер применил специальную систему нагружения в построенной им для этой цели машине (Рис.4).

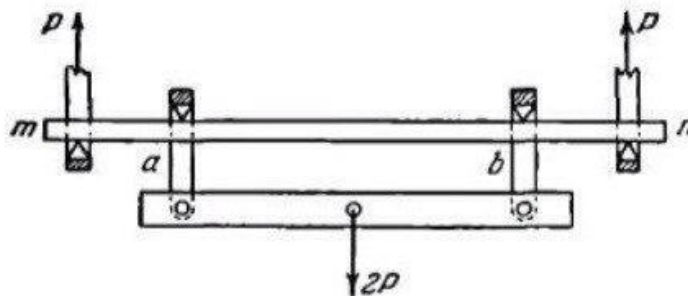


Рис. 4.

Благодаря ей участок *ab* образца *mn* испытывает чистый изгиб, и потому из точного измерения прогибов становится возможным определить модуль упругости *E* и нагрузку, при которой начинается необратимая деформация.

Август Веллер внес большой вклад в научную основу проектирования металлических конструкций, подвергающихся повторным напряжениям, классическими опытами с железом и сталью в условиях повторного растяжения-сжатия, результаты которых были опубликованы в 1858—1870 го-

дах. Л. Шпангенберг в 1874 году впервые графически изобразил результаты исследований, опубликованных А. Веллером в виде таблиц. С тех пор графическое представление полученной зависимости между амплитудами напряжения цикла и числом циклов до разрушения называют диаграммой Веллера. А. Веллер ввел понятие о физическом пределе выносливости – максимальном циклическом напряжении, при котором нагрузка может быть приложена неограниченное число раз, не вызывая разрушения [3].

Экспериментальная работа Вёлера носила основополагающий характер: с полным основанием можно утверждать, что именно с нее берет начало научное изучение усталости материалов. Для каждого вида своих испытаний Вёлер проектировал и конструировал все необходимые машины и измерительные инструменты. При проектировании их он предъявлял весьма строгие требования к точности, с которой должны были измеряться силы и деформации; по этой причине его машины представляют собой серьезный шаг вперед в технике испытания материалов.

Литература

1. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений (пер. с англ.). М: Гос. изд-во технико-теор. лит-ры, 1957г. – 536с.
2. http://mysopromat.ru/uchebnye_kursy/istoriya_soprotivleniya_materialov/biografii/veler_avgust/.
3. Терентьев В.Ф., Оксогоев А.А. Циклическая прочность металлических материалов: Уч. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 61с.

A. WELLER'S BASIC RESEARCH IN ENGINEERING

N.M. ZNAMENSKII, student

Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

mr.znam@mail.ru

For a long time scientists and engineers conducted the EC-repetition in the basic sciences. These studies were closely associated with the construction in various fields, in particular railway. During construction and the general operation of the railways in the 19th century, the engineers and designers were faced with a difficult problem, which was based on the strength and stability of a railroad bed. During the operation of trains, railway bed is subjected to high loads. Often, it will not survive, and this led to a rapid failure, and sometimes disaster. German engineer August Wöhler tried to solve this problem. He spent a huge amount of time and effort, conducting systematic research fatigue. As a result of this work, he made an enormous contribution not only in practical terms, in the railway construction, but also in the fundamental engineering sciences such as strength of materials and technical mechanics. The paper is about A.Weller's main achievements in the field of engineering.

KEYWORDS: fundamental science, railroad, A. Weller, fatigue, strength of materials, technical mechanics.



К ВОПРОСУ О НАХОЖДЕНИИ РАЗВЕРНУТЫХ ВЫРАЖЕНИЙ В АНАЛИТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТОРСА-ГЕЛИКОИДА

А.К. БАЛОВ, студент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье показаны некоторые проблемы, возникающие при нахождении развернутых выражений для определения векторных коэффициентов, входящих в выражения параметров перемещений при аналитическом расчете торса-геликоида по методу малого параметра.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аналитический расчет, торс-геликоид, напряженно-деформированное состояние, метод малого параметра.

Геликоидальные оболочки широко востребованы в современной архитектуре (Рис. 1). Существуют разные расчетные программы, вычислительные функции которых, основаны на методе конечных элементов, которые и используются в наше время на практике для расчета геликоидальных оболочек. Однако аналитические методы позволяют проводить более углубленный анализ состояния геликоидов. Данный вопрос является актуальным, а аналитические методы расчета геликоидальных оболочек нуждаются в совершенствовании.

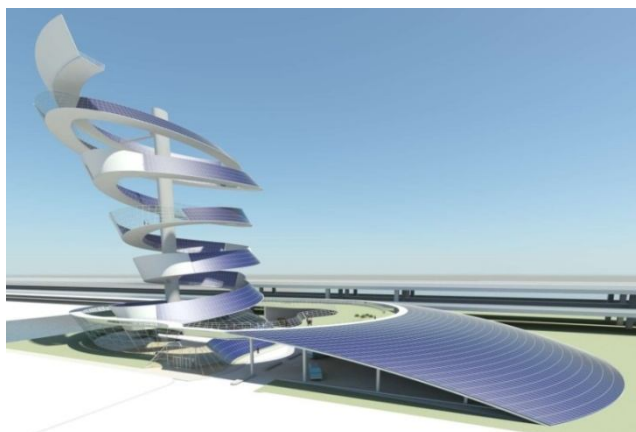


Рис. 1. Проект Архитекторов из бюро ShortList_0 Design Group LLC под названием «Солнечная спираль».

В 1992 году появились работы [1], [2], в которых изучается напряженно-деформированное состояние упругих оболочек в форме торсов-геликоидов с параметрическими уравнениями срединной поверхности.

$$x = x(u, s) = a \cos \frac{s}{m} - \frac{au}{m} \sin \frac{s}{m}, \quad y = y(u, s) = a \sin \frac{s}{m} + \frac{au}{m} \cos \frac{s}{m},$$
$$z = z(u, s) = (s + u) \frac{b}{m}.$$

где $m = \sqrt{a^2 + b^2}$, $s = \text{const}$ - прямолинейные образующие, касательные к кривой (1.3), линии $u = \text{const}$ являются винтовыми на круговом цилиндре с радиусом $r = a \sqrt{1 + \frac{u^2}{a^2 + b^2}}$ и имеют тот же шаг $2\pi b$, что и ребро возврата (2)

$$x = a \cos \frac{s}{\sqrt{a^2 + b^2}}, y = a \sin \frac{s}{\sqrt{a^2 + b^2}}, z = \frac{bs}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Внутренние силовые факторы принимаются в виде N_u^* , N_v^* , S_u^* , S_v^* , Q_u^* , Q_v^* , M_u^* , M_v^* , M_{uv}^* , M_{vu}^* .

Для указанных условий была получена система трех дифференциальных уравнений (1), (2), (3)

$$\left(\alpha^2 + \frac{1-v}{2}\right) \frac{\partial^2 u_1}{\partial \alpha^2} - \frac{1-v}{2} \left(B^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 u_1}{\partial \beta^2} + \frac{\partial^2 u_2}{\partial \beta^2}\right) + \left(1-v - \frac{1+v}{2} \alpha^2\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha \partial \beta} - (1-v) \frac{\partial^2 u_1}{\partial \alpha \partial \beta} + \frac{1-v}{2\alpha} \frac{\partial u_1}{\partial \beta} + \left(\alpha - \frac{1-v}{2\alpha}\right) \frac{\partial u_1}{\partial \alpha} + \frac{1-v}{2} \left(\frac{1}{\alpha} - 3\alpha\right) \frac{\partial u_2}{\partial \alpha} + (1-v) \left(\alpha - \frac{1}{2\alpha}\right) \frac{\partial u_2}{\partial \beta} - u_1 - \mu v \alpha \frac{\partial w}{\partial \alpha} + \mu w + \frac{a\alpha^2}{c} \left(X + \frac{Y}{B}\right) = 0. \quad (1)$$

$$\frac{1-v}{2} \left(B^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial \beta^2} - B^4 \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha^2}\right) - \left(\alpha^2 + \frac{1-v}{2}\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \beta^2} + (1-v) B^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha \partial \beta} + \left(v - 1 + \frac{1+v}{2} \alpha^2\right) \frac{\partial^2 u_1}{\partial \alpha \partial \beta} + \left(\frac{1-v}{2} \frac{B^2}{\alpha} + \alpha\right) \frac{\partial u_1}{\partial \beta} - \frac{1-v}{2} \frac{B^2}{\alpha} \frac{\partial u_1}{\partial \alpha} + \frac{1-v}{2} \left(\alpha - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{\partial u_2}{\partial \beta} + \mu(1-v) \alpha \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \mu \alpha \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{b\alpha^2 a}{m^2 c} Q_s^* + \frac{a\alpha^2}{c} (BY + X) = 0, \quad (2)$$

где

$$Q_s^* = -\frac{D}{\alpha m^2} \left[\frac{B^2}{\alpha^2} \frac{d^3 w}{d\alpha^3} - \left(1 + \frac{3}{\alpha^2}\right) \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^3} + \frac{3}{\alpha^2} \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{3}{\alpha^3}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} + \left(\frac{6}{\alpha^3} - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} + \frac{3}{\alpha^3} \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + \left(\frac{3}{\alpha^4} - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{3}{\alpha^4} \frac{\partial w}{\partial \beta} + \frac{\mu}{\alpha} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \beta^2} + \mu \left(\frac{B^2}{\alpha} - v\alpha\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha^2} - \frac{2\mu}{\alpha} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha \partial \beta} + \frac{\mu}{\alpha^2} \frac{\partial u_2}{\partial \beta} + \mu \left(2 - 2v - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{\partial u_2}{\partial \alpha} \right],$$

$$-\frac{B^4}{\alpha^3} \frac{\partial^4 w}{\partial \alpha^4} + \frac{4B^2}{\alpha^3} \frac{\partial^4 w}{\partial \alpha \partial \beta^3} - \left(\frac{6}{\alpha^3} + \frac{2}{\alpha}\right) \frac{\partial^4 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} - \frac{6}{\alpha^4} \frac{\partial^3 w}{\partial \beta^3} - \frac{1}{\alpha^3} \frac{\partial^4 w}{\partial \beta^4} + \left(\frac{6}{\alpha^4} - 2 + \frac{4}{\alpha^2}\right) \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^3} + \left(\frac{2}{\alpha^2} + \frac{18}{\alpha^4}\right) \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \left(\frac{6}{\alpha^2} + \frac{18}{\alpha^4}\right) \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \left(\frac{10}{\alpha^3} + \frac{30}{\alpha^5}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \left(\frac{14}{\alpha^3} + \frac{15}{\alpha^5}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{15}{\alpha^5} - \frac{6}{\alpha^3}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} + \left(\frac{15}{\alpha^6} + \frac{6}{\alpha^4} - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{\partial w}{\partial \alpha} + \left(\frac{6}{\alpha^4} - \frac{15B^2}{\alpha^6}\right) \frac{\partial w}{\partial \beta} + \mu \left[\left(v - 2 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{\partial^3 u_2}{\partial \alpha^3} + \left(\frac{3}{\alpha^2} + 2 - v\right) \frac{\partial^3 u_2}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{3}{\alpha^2} \frac{\partial^3 u_2}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^3 u_2}{\partial \beta^3} + \frac{3}{\alpha^3} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \beta^2} + \left(\frac{3}{\alpha^3} - \frac{1-2v}{\alpha}\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha^2} + \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{6}{\alpha^3} - \frac{2v}{\alpha}\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \alpha \partial \beta} + \left(\frac{1-2v}{\alpha^2} - \frac{3}{\alpha^4}\right) \frac{\partial u_2}{\partial \alpha} + \left(\frac{3}{\alpha^4} + \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{\partial u_2}{\partial \beta} \right] - \frac{12\mu m^4}{h^2 a^2} \left[\frac{\partial u_2}{\partial \beta} - (1-v) \frac{\partial u_2}{\partial \alpha} - v \frac{\partial u_1}{\partial \alpha} - \frac{u_1}{\alpha} \right] - \frac{12\mu^2 m^4 w}{h^2 a^2} \frac{1}{\alpha} - \frac{\alpha m^4}{aD} Z = 0 \quad (3)$$

с тремя неизвестными параметрами перемещений u_1 , u_2 , w . Для расчета длинных торсов-геликоидов хотя бы с одним жестко защемленным криволинейным краем $\alpha = \text{const}$, полагаем, что и тогда система трех дифференциальных уравнений (1), (2), (3) в частных производных превращается в систему трех обыкновенных дифференциальных уравнений с одним неза-

$$u_1 = u_1(\alpha), u_2 = u_2(\alpha), w = w(\alpha), \frac{\partial^i \dots}{\partial s^i} = \frac{\partial^i \dots}{\partial \beta^i} = 0$$

висимым параметром α [2]:

$$\left(\alpha^2 + \frac{1-v}{2}\right) \frac{d^2 u_1}{d\alpha^2} - \frac{1-v}{2} B^2 \frac{d^2 u_2}{d\alpha^2} + \left(\alpha - \frac{1-v}{2\alpha}\right) \frac{du_1}{d\alpha} + \frac{1-v}{2} \left(\frac{1}{\alpha} - 3\alpha\right) \frac{du_2}{d\alpha} - u_1 - \mu\nu\alpha \frac{dw}{d\alpha} + \mu w + \frac{a\alpha^2}{c} \left(X + \frac{Y}{B}\right) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{1-v}{2} B^2 \left[\frac{d^2 u_1}{d\alpha^2} - B^2 \frac{d^2 u_2}{d\alpha^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{du_1}{d\alpha} + \left(\frac{1}{\alpha} - 3\alpha\right) \frac{du_2}{d\alpha} \right] + \mu(1-v)\alpha \frac{dw}{d\alpha} - \mu \frac{\alpha a^2 h^2}{12m^4} \left[\frac{B^2 d^3 w}{\alpha^2 d\alpha^3} + \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{3}{\alpha^3}\right) \frac{d^2 w}{d\alpha^2} + \left(\frac{3}{\alpha^4} - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{dw}{d\alpha} + \mu \left(\frac{B^2}{\alpha} - \nu\alpha\right) \frac{d^2 u_2}{d\alpha^2} + \mu \left(2 - 2\nu - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{du_2}{d\alpha} \right] + \frac{a\alpha^2}{c} (BY + X) = 0, \quad (5)$$

$$- \frac{B^4}{\alpha^3} \frac{d^4 w}{d\alpha^4} + \left(\frac{6}{\alpha^4} - 2 + \frac{4}{\alpha^2}\right) \frac{d^3 w}{d\alpha^3} + \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{15}{\alpha^5} - \frac{6}{\alpha^3}\right) \frac{d^2 w}{d\alpha^2} + \left(\frac{15}{\alpha^6} + \frac{6}{\alpha^4} - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{dw}{d\alpha} + \mu \left[\left(\nu - 2 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{d^3 u_2}{d\alpha^3} + \left(\frac{3}{\alpha^3} - \frac{1-2\nu}{\alpha}\right) \frac{d^2 u_2}{d\alpha^2} + \left(\frac{1-2\nu}{\alpha^2} - \frac{3}{\alpha^4}\right) \frac{du_2}{d\alpha} \right] - \frac{12\mu m^4}{h^2 a^2} \left[(1-v) \frac{du_2}{d\alpha} + \nu \frac{du_1}{d\alpha} + \frac{u_1}{\alpha} \right] - \frac{12\mu^2 m^4 w}{h^2 a^2} - \frac{a m^4}{\alpha D} Z = 0. \quad (6)$$

Кривошапко С.Н. предложил применить к решению системы трех обыкновенных дифференциальных уравнений (4), (5), (6) метод малого параметра и записал эти уравнения в виде [3]

$$E = -\frac{a\alpha^4}{cB^2} X + \mu \frac{\alpha(1+\nu\alpha^2)}{B^2} \frac{dw}{d\alpha} - \mu w - \mu^2 \frac{a^2 h^2}{12m^4 B^2} \left[\frac{aB^2 d^3 w}{\alpha^2 d\alpha^3} + \left(1 - \frac{3}{\alpha^2}\right) \frac{a}{b} \frac{d^2 w}{d\alpha^2} + \frac{a}{b} \left(\frac{3}{\alpha^3} - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{dw}{d\alpha} + (B^2 - \nu\alpha) \frac{d^2 u_2}{d\alpha^2} + \left(2\alpha - 2\alpha\nu - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{du_2}{d\alpha} \right]. \quad (7)$$

$$u_1 = -\frac{1}{2\alpha} \int E d\alpha + \frac{\alpha}{2} \int \frac{E}{\alpha^2} d\alpha - \frac{A_2}{2\alpha} + \alpha A_3, \\ \frac{du_2}{d\alpha} = \frac{(1+3\alpha^2)}{2\alpha^2 B^4} \int E d\alpha + \frac{1-\alpha^2}{2B^4} \int \frac{E}{\alpha^2} d\alpha + \mu \frac{2\alpha}{B^4} w - \mu^2 \frac{2a^2 h^2}{12(1-\nu)m^4 B^4} \left[\frac{aB^2 d^2 w}{b\alpha d\alpha^2} + \frac{a}{b} \left(1 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{dw}{d\alpha} + (B^2 - \nu\alpha^2) \frac{du_2}{d\alpha} + \alpha(1-\nu)u_2 \right] + \frac{2\alpha\alpha}{CB^4(1-\nu)} \int \alpha(BY + X) d\alpha + \frac{2\alpha A_1}{(1-\nu)B^4} + \frac{1+3\alpha^2}{2\alpha^2 B^4} A_2 + \frac{1-\alpha^2}{B^4} A_3, \quad (8)$$

где A_2, A_3 - произвольные постоянные интегрирования.

$$\frac{d}{d\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left[\frac{B^4}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{dw}{d\alpha} \right) \right] \right\} = -\frac{a m^4}{\alpha D} Z + \mu \frac{12m^4}{h^2 a^2} \left\{ \frac{d}{d\alpha} \left[(1-\nu)u_2 + \nu u_1 \right] - \frac{b}{\alpha\alpha} w + \frac{1}{\alpha} u_1 \right\} + \mu^2 \frac{a}{b} \frac{d}{d\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left[\left(\nu\alpha - 2\alpha - \frac{1}{\alpha} \right) \frac{du_2}{d\alpha} + (1+\nu)u_2 \right] \right\}, \quad (9)$$

где X, Y, Z – внешние поверхностные силы, возникающие от действия собственного веса $\mathbf{g} = -g\mathbf{k}$

$$X = -\mu \frac{ag}{m}, \quad Y = 0, \quad Z = \frac{ag}{m} \quad (10)$$

Решения этих уравнений предложил разложить в ряды по степени малого параметра [3]

$$\begin{aligned} u_1 &= u_1(\alpha, \mu) = \sum_{i=0}^{\infty} H_i(\alpha) \mu^i, \\ u_2 &= u_2(\alpha, \mu) = \sum_{i=0}^{\infty} V_i(\alpha) \mu^i, \\ w &= w(\alpha, \mu) = \sum_{i=0}^{\infty} W_i(\alpha) \mu^i, \end{aligned} \quad (11)$$

где $H_i(\alpha), V_i(\alpha), W_i(\alpha)$ - векторные коэффициенты, которые нужно определить.

Для определения первых членов рядов (11) нужно переписать уравнения (7), (8), (9), (10) при условии, что $\mu = 0$:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left[\frac{B^4}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{dW_0}{d\alpha} \right) \right] \right\} &= -\frac{\alpha m^4}{aD} Z, \\ E_0 &= 0, \quad H_0 = -\frac{A_{20}}{2\alpha} + \alpha A_{30}, \\ \frac{dV_0}{d\alpha} &= \frac{2\alpha A_{10}}{(1-\nu)B^4} + \frac{1+3\alpha^2}{2\alpha^2 B^4} A_{20} + \frac{1-\alpha^2}{B^4} A_{30}, \end{aligned} \quad (12)$$

где A_{i0} ($i = 1, 2, 3$)- произвольные постоянные интегрирования. Решив уравнения (12) получим:

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{\alpha^4 m^4}{64aD} Z + C_{10} \ln B^2 + \alpha^2 \ln B^2 C_{20} + \alpha^2 C_{30} + C_{40}, \\ E_0 &= 0, \quad H_0 = -\frac{A_{20}}{2\alpha} + \alpha A_{30}, \\ V_0 &= -\frac{A_{10}}{(1-\nu)B^2} - \frac{A_{20}}{2\alpha B^2} + \frac{\alpha A_{30}}{B^2} + A_{40}, \end{aligned} \quad (13)$$

где A_{40}, C_{i0} ($i = 1, 2, 3, 4$) – постоянные интегрирования, которые находятся из граничных условий на винтовых краях, но так как у нас упрощенное дифференциальное уравнение, применимое только для длинных торсов-геликоидов, это не представляется возможным.

Для нахождения вторых членов рядов (11), нужно проделать то же самое, выписав члены содержащие малый параметр μ в первой степени

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left[\frac{B^4}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{dW_1}{d\alpha} \right) \right] \right\} &= \frac{12m^4}{h^2 \alpha^2} \left\{ \frac{d}{d\alpha} [(1-\nu)V_0 + \nu H_0] - \frac{bW_0}{\alpha} + \frac{H_0}{\alpha} \right\}, \\ E_1 &= \frac{\alpha^2 a^4 g}{CB^2 m} + \frac{\alpha(1+\nu\alpha^2)}{B^2} \frac{dW_0}{d\alpha} - W_0, \\ H_1 &= -\frac{1}{2\alpha} \int E_1 d\alpha + \frac{\alpha}{2} \int \frac{E_1}{\alpha^2} d\alpha - \frac{A_{21}}{2\alpha} + \alpha A_{31}, \\ \frac{dV_1}{d\alpha} &= \frac{(1+3\alpha^2)}{2\alpha^2 B^4} \int E_1 d\alpha + \frac{1-\alpha^2}{2B^4} \int \frac{E_1}{\alpha^2} d\alpha + \frac{2\alpha}{B^4} W_0 - \frac{2\alpha}{CB^4(1-\nu)} \int \frac{\alpha}{m} g d\alpha + \\ &+ \frac{2\alpha A_{11}}{(1-\nu)B^4} + \frac{1+3\alpha^2}{2\alpha^2 B^4} A_{21} + \frac{1-\alpha^2}{B^4} A_{31}. \end{aligned} \quad (14)$$

При вычислении W_1, H_1, V_1 , предполагается, что константы интегрирования A_{i0}, C_{i0} ($i = 1, 2, 3, 4$), входящие в векторные коэффициенты W_0, H_0, V_0 (13) уже известны. Однако если для первого члена ряда даются

развернутые выражения (13), то для второго члена ряда развернутого выражения в литературе обнаружено не было. Перед автором была поставлена задача получить развернутые выражения для второго члена ряда, при этом появились интегралы

$$\int \frac{\ln(1+\alpha^2)}{\alpha} d\alpha, \int \frac{\ln(1+\alpha^2)}{1+\alpha^2} d\alpha,$$

которые можно решить разложением в ряды Тейлора. Такое решение нужно проверить на сходимость, а интеграл

$$\int \frac{\ln(1 + \alpha^2)}{1 + \alpha^2}$$

был решен М.И. Рынковской в работе [4] с применением чисел Бернулли. Таким образом, в ближайшее время планируется проверка и, если понадобится, поиск другого варианта интегрирования, а также дальнейшая работа по получению развернутых выражений.

Литература

1. М.К. Кумудини Джаявардена. Решение задач расчета тонких упругих оболочек в форме развертывающихся геликоидов: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: РУДН, 1992.-183с.
2. Кривошапко С.Н. К расчету не пологой тонкой оболочки в форме торса-геликоида// Вопросы прочности пространственных систем: Материалы XXVIII научной конференции инженерного факультета. Секция строительной механики. – М.: РУДН, 1992.-с.30-38.
3. Кривошапко С.Н., Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек [Текст] / Кривошапко С.Н.: Монография. – М.: РУДН, 2009. – 357с.
4. Рынковская М.И., Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор: Дисс. канд. техн. наук – М.: РУДН, 2013. – 217с.

ON THE QUESTION OF ESTIMATION OF DETAILED EXPRESSIONS IN ANALYTICAL CALCULATION OF DEVELOPING HELICOID

A.K. BALOV, *student*

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

This paper is about some problems which appear while finding of detailed expressions of vectorial coefficients in the formulas of displacement parameters in analytical calculation of developing helicoid by the method of small parameter.

KEY WORDS: analytical calculation, developing helicoid, deflected mode, method of small parameter.



ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ

А.В. БАРАНЕНКОВА, студент

П.С. ЮШИН, студент

МОХАМАД АСАД, студент, (Иордания)

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье исследуются конструктивные особенности энергоэффективных домов. Проанализированы материалы, используемые для строительства таких домов. Изложены принципы энергоэффективного строительства и приведены примеры пассивных домов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоэффективный дом, конструкция экоддома, экологически чистые материалы, оборудование пассивного дома, прочность конструктивных элементов.

Ежегодные повышения тарифов на водоснабжение, электроснабжение и отопление заставляют искать альтернативные ресурсосберегающие варианты, которые помогут снизить коммунальные расходы. На рынке уже появились отдельные технологические решения и строительные материалы, позволяющие решать эти задачи. Однако, как правило, они имеют достаточно узкую направленность и не обеспечивают комплексного подхода. В энергоэффективном доме были объединены различные решения, в результате чего получился дом с «нулевым» потреблением энергии.

Современная застройка наносит серьезный экологический ущерб окружающей среде как непосредственно, так и через инженерную инфраструктуру и обслуживающий ее производственный сектор. По сути своей жилье индустриальной эпохи антиэкологично. Так называемое «зеленое» строительство можно определить как тесное сплетение двух понятий: экологии и разумной экономии ресурсов и средств. Главные принципы строительства энергоэффективных домов - энергетическая эффективность, комфортное пребывание в здании и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время в различных странах мира стихийно появляются дома нового типа, обычно называемые экологическими. Такие дома имеют все основания стать эталоном жилья постиндустриальной эпохи. Более того, экожилье может сыграть ключевую, системообразующую роль в переходе к экологически устойчивой цивилизации.

Экодом [1] - это энергоэффективное комфортное жильё с независимыми системами жизнеобеспечения и регенерацией отходов. Строительство таких экологических домов началось в разных странах практически од-

новременно, как реакция на назревающие экологический и энергетический кризисы. Наибольшего успеха в экологическом домостроении добились Европейские страны и США [2].

Конструкция экодому предусматривает комплекс инженерного оборудования: суточные и долгосрочные аккумуляторы тепла и электроэнергии, рекуператор тепла вентиляции, солнечные коллекторы и электробатареи, традиционные тепло- и электрогенератор, устройства биологической очистки сточных вод и переработки твёрдых органических отходов, буферные зоны и подсобные сооружения (теплица, погреб, ледник и т.д.). На прилегающей территории размещены устройства биологической очистки и регенерации отходов (растительный фильтр, ботаническая площадка и т.д.).

Строительство энергоэффективных домов должно подчиняться основным нижеследующим принципам (рис. 1):

- все ограждающие конструкции имеют эффективную теплоизоляцию, по сути превращающие дом в термос;
- отсутствуют мостики холода;
- форма сооружения компактна;
- ориентация здания на юг, отсутствие затенения;
- энергосберегающие стеклопакеты;
- наличие контролируемой вентиляции с рекуперацией тепла.

Последний из вышеперечисленных принципов означает устройство такого воздухообменника, в котором отводящийся теплый воздух сначала подогревает подающийся свежий, а уж затем сбрасывается [3].

Энергоэффективный дом: основные элементы

Энергоэффективный дом позволяет создать комфортный микроклимат зимой и летом, без отопления и кондиционера

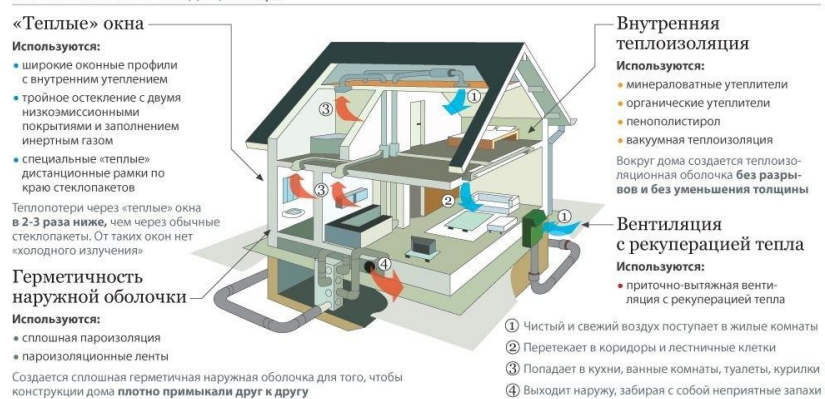


Рис. 1

Материалы для пассивных домов. Мнение, что искусственно созданные строительные материалы не являются экологически чистым продуктом, часто бывает ошибочным. Многие из них производятся из натурального природного сырья. Главное, сделать правильный выбор. Сертификат экологического соответствия – и есть подтверждение безопасности.

В плане экологии самым безопасным материалом считается древесина, но только до тех пор, пока она не пропитана деревообрабатывающими составами, эмалями и лаками (рис.2). Дерево – недолговечный материал и его обработка – это необходимость. Чтобы сохранить экологичность деревянных изделий, выход только один – сертификация пропиток, грунтовок и других материалов. Особенно, если эти изделия применяют для внутренней отделки дома.



Рис. 2

Примером искусственного материала, который создан руками человека, служит газобетон (рис. 3). При его изготовлении используют только природное сырьё – известь, песок и цемент, с применением местных недорогих ресурсов. Основные достоинства газобетонных блоков – лёгкий вес, доступность, экологичность, дают возможность их использования, как при монтаже внутренних перегородок, так и для возведения несущих стен.



Рис. 3

Изделия из керамики, как и из газобетона, изготавливают из натурального сырья местных регионов и применяют как снаружи, так и внутри здания. К экологически чистым строительным изделиям относят керамическую черепицу, хотя ей не уступают и такие кровельные материалы, как медь и сланец [5].

Не каждый вид утеплителя можно отнести к разряду экологически чистых материалов. Если керамзит, пеностекло, древесноволокнистые и камышовые маты, безусловно, имеют натуральную структуру, то к каменной вате стоит относиться с осторожностью. Фенол, ко-



Рис. 4

торый входит в её состав – вредное вещество, поэтому этот вид утеплителя стоит устраивать в изолированных конструкциях.

Нельзя считать экологичными и некоторые отделочные материалы, такие как виниловые обои и сайдинг, выделяющие полимерные продукты. Эпоксидные лаки, синтетические краски и клеи – токсичны и небезопасны. Стоит аккуратно относиться к выбору металлопластиковых окон, ламинату и линолеуму, обязательно, смотреть наличие их сертификатов. Плиты пенополистирола (рис.4) не только обладают ядовитыми веществами, но и являются пожароопасным строительным материалом [4] .

Несмотря на то, что дома являются энергосберегающими, это не должно противоречить принципам прочности, надежности и долговечности. Все используемые материалы и конструктивные решения должны отвечать вышеизложенным требованиям. Так как строительство энергосберегающих домов не являются типичным, все должно тщательнее проверяться и рассчитываться.

Примеры энергоэффективного строительства.

Квартирно-офисный комплекс Cherokee Studios, Лос-Анджелес (рис.5) построен на месте бывшей студии звукозаписи Cherokee, в которой когда-то записывали свои хиты музыканты Дэвид Боуи и Уоррен Зивон. На данный же момент это здание является одним из самых современных экодомов в США, которое использует пассивное охлаждение благодаря преимуществам климата Южной Калифорнии, а также лампы дневного освещения, которые в большинстве случаев представляют собой светодиоды, что сводит к минимуму потребление электроэнергии [1].

Практически весь город Ванкувер можно назвать одним ультра-экологическим зданием. Но построенный в этом городе Конференц-центр Запада (рис.6), который завоевал платину в рейтинге LEED, заслуживает отдельного внимания. На «зеленой» крыше общей площадью 2,4 Га находятся около 400 тысяч местных растений. Экономайзеры свободного охлаждения понижают температуру в наиболее жаркие сезоны года. Интерьер здания оснащен датчи-



Рис. 5



Рис. 6

ками CO₂ и влажности, отопление и охлаждение обеспечиваются за счет водяных тепловых насосов, находящихся в море.

Заключение:

На опыте американских и европейских стран можно сделать выводы, что энергосберегающее строительство набирает свою актуальность, что сейчас как никогда человечество нуждается в инновациях направленных на защиту окружающей среды, а в следствии на использование возобновляемых источников энергии.

Важность повсеместного строительства энергосберегающих и экологических домов бесспорна. С одной стороны пассивный дом является энергонезависимой системой, не требующей подключения к существующим коммуникациям, что позволяет экономить на электроэнергии, отоплении и водоснабжении. С другой стороны экодом сделан из таких материалов, которые не наносят вред окружающей среде, что в будущем сохранит нашу планету для следующих поколений.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E0%F1%F1%E8%E2%ED%FB%E9_%E4%EE%EC
2. *Габриель И., Ладенер Х.* Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. - Издательство: БХВ-Петербург, 2011. -478 с.
3. <http://semidelov.ru/mar/stroitelstvo-energoeffektivnyh-domov/>
4. <http://www.ukladkapolov.ru/stroitelstvo/1/ekodom-iz-chego-stroit.php>
5. <http://photo-day.ru/ekodom/>

SPECIFICS OF SUSTAINABLE HOUSES PROJECTION

A.V. BARANENKOVA, *student*

P.S. YUSHIN, *student*

MOHAMAD ASAD (Jordan), *student*

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

The article investigates structural features of energy efficient buildings. It contains the analysis of materials used for the construction of such buildings and the description of the principles of the sustainable house construction. The article also contains the examples, describing passive houses.

KEYWORDS: *sustainable house, eco-house construction, green materials, passive house equipment, durability of construction elements.*



ОБ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОБЛЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В КОЛУМБИИ

ХУЛИАН ГАРСОН О., студент, (Колумбия)
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
ilrahc16@hotmail.com

Железные дороги Колумбии в основном расположены в горной местности, подверженной частым обвалам, что усложняет инженерные расчеты при проектировании. При этом только 70% дорог находятся в хорошем состоянии. В работе рассматриваются инженерные проблемы железнодорожного транспорта в Колумбии и пути их решения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный транспорт, механические характеристики, груз, перевозка, геологическая особенность, обвал, радиус кривизны гор.

Для лучшего понимания инженерных проблем Колумбии необходимо, прежде всего, разобраться в ситуации с железнодорожным транспортом страны в целом. Первая железнодорожная линия на территории страны была построена в 1874 году. Ныне протяженность железных дорог в стране составляет 2730 км, из них 150 км с шириной колеи 1435 мм, и 2580 км с колеёй 914 мм (Рис. 1). Находящиеся в эксплуатации железные дороги и железнодорожный парк используются только для транспортировки грузов, главным образом угля. В 1994 г. объем груза, перевезенного по железным дорогам, составил всего 0,8 млн. тонн. В 1997 г. железнодорожные перевозки несколько возросли – до 1,2 млн. тонн.



Рис. 1. [1]

Центральная часть железнодорожной сети охватывает следующие города: Богота-Факататива-Трибуна - Виллета - Тобия - Утика - ПуэртоСалгар—Ла Дорода- ПуэртоБеррио - Кэраре -Бискейн - Барранкабермеха-Гамарра-Чиригуана.

С древних времен тропинки и дороги в Колумбии были довольно плохие и имели много недостатков. Следовательно, топографические, физические дорожные условия и долгие часы, которые нужно было тратить на то, чтобы проехать по этим дорогам, заставили колумбийцев понять, что железная дорога, которая появилась в Англии в 1830 году на Ливерпуль-Манчестерской линии, было бы лучшим решением для всех этих проблем и позволило бы стране развиваться дальше [2].

Стоит отметить, что все железные дороги, построенные между 1855 и 1920 году имели общий фактор, они были спроектированы и построены для импорта и экспорта товаров, который всегда находился между городскими центрами и крупными портами с определенной экономической и коммерческой деятельностью. Это объясняет одну из главных проблем начала модернизации, отсутствие дорог между различными городскими центрами. Кроме того, 80% общей длины построенных дорог использовалась для транспортировки кофе. Люди никогда не задавались вопросом и целью о совершенствовании данного вида транспорта, что позволило бы с легкостью и в значительно меньшие сроки добираться до определенного пункта назначения.

Одной из главных проблем в инженерной области является геологическая особенность строения гор, где случаются частые обвалы (Рис. 2). Например, из-за постоянных разливов реки Каука, были уничтожены железнодорожные линии, которые соединяли Медельин с Тихим океаном. В связи с этой большой по своим масштабам проблемой, Атлантический и Тихоокеанский регионы фактически остались без связи, что в свою очередь привело к экономическим и бытовым проблемам.



Рис. 2.

Как правило, в состав пассажирского поезда входит больше восьми вагонов, каждый из которых превышает длину обычного автомобиля, а значит и угол поворота для поезда

Также при строительстве железной дороги стоит учитывать, что на некоторых участках маленький радиус кривизны гор (Рис. 3). Этот фактор говорит о том, что строительство железной дороги невозможно сравнить со строительством обычного шоссе для автомобилей.

увеличивается в разы. Только для планировки строительства железной дороги инженерам приходится проводить мониторинг гор и частоту обвалов, что значительно усложняет их работу, а также проводить углубленное изучение видов закруглений, что, как показано в работе [3], иногда требует особого подхода. Также стоит отметить сложное и дорогостоящее строительство железных дорог в горной местности. На тех участках, где невозможно строительство железной дороги, предполагается строительство всевозможных тоннелей, но и здесь следует помнить об инженерных трудностях при строительстве в горах (Рис. 3).



Рис. 3

Сегодня проблемы стали еще сложнее, так как к техническим проблемам добавились такие как финансовая нестабильность автокомпаний, отсутствие надлежащего технического обслуживания сети и др. Состояние объектов железнодорожной инфраструктуры усугубилось недавними климатическими явлениями, которые повлекли за собой частые сели и обвалы. А так же концессионные контракты, которые заключились вплоть до 2030 года, но на сегодняшний день так и не начавшие свою реализацию. Но одной из главных проблем остается геологическая особенность строения гор с частыми обвалами и маленькими радиусами закруглений.

Тем не менее, рассматривается большой проект (Рис.4) для железнодорожного транспорта из офисов Национального Агентства Инфраструктуры (ANI). Инвестиции в восстановление и строительство железных дорог будут около \$ 8200 млрд в три этапа, которые будут проводиться с 2014 по 2021 г. [4].



Рис. 4 [4]

Часть расходов на инженерные работы можно компенсировать, пустив по Карибскому побережью туристический поезд, с помощью которого пу-

тешественники смогут познакомиться с интересными достопримечательностями города Медельин (Medellin) и его окрестностей, что планируется к февралю 2015 года. Это будет не просто увлекательная поездка на поезде, но и детализированное погружение в историю области: каждая станция в разное время сыграла важную роль в развитии не только Медельина, но и всей Колумбии. Сам поезд будет стилизован под старинные "крестьянские" вагоны *margaras* [5].

Начинается новый аттракцион от станции Botero, старейшей ж\д станции в регионе, построенной еще в 1914 году. В маршрут также будут включены станции Rogge и Santiago, расположенные в живописных красивых местах. После этого поезд пойдет по трехкилометровому тоннелю Quiebra, созданному в Антиокии в конце XIX века инженером Алехандро Лопесом. На выходе из тоннеля туристов будет ждать восстановленная и отреставрированная станция Limon, а закончится исторический маршрут в пункте Cisneros, откуда все желающие смогут отправиться в Медельин.

Заключение:

Одной из главных проблем железнодорожного транспорта Колумбии является геологическая особенность строения гор, где случаются частые обвалы, а также маленькие радиусы закруглений железнодорожного полотна. Именно этим вопросам планируется уделить внимание в дальнейших исследованиях по данному вопросу.

Литература

1. <http://laotraopinion.net/medios-de-transporte/ferrocarriles-en-colombia/>
2. *James D. Henderson*. La modernización en Colombia, los años de Laureano Gomez 1889-1965. – Medellin: Univ. Nacional de Colombia, 2006. – 686p.
3. *Рынкoвская М.И.* Влияние угла наклона образующих на НДС торса-геликоида, рассчитанного по аналитическому методу малого параметра с учетом первых трех членов ряда//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений №4, 2012. М: Изд-во РУДН. – С. 15-17.
4. <http://www.ssi.org.co/noticias/leer/id/208>
5. <https://www.mintransporte.gov.co>

**ABOUT RAILWAY ENGINEERING PROBLEMS
IN COLOMBIA**

JULIAN GARZON ORJUELA, (*Colombia*)
ilrahc16@hotmail.com

Railways of Colombia are mostly located in mountainous areas prone to frequent landslides, which complicates the design of engineering analysis. However, only 70% of the roads are in good condition. This document deals with the engineering problems of rail transport in Colombia and their solutions.

KEYWORDS: *railway transport, mechanical characteristics, charge, transportation, geological feature, the collapse, the radius of curvature of the mountains.*



ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ГЭС ИТАИРИУ

ГЕВАРА РАДА ЛЕЙДИ ТАТЬЯНА, студент, (Колумбия)
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В данной статье рассматриваются основные типы гидротехнических сооружений и одна из самых больших гидроэлектростанций ИТАИРИУ, расположенная на реке Парана в Латинской Америке и занимающая второе место по производству энергии во всем мире.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротехническое сооружение, гидроэлектростанция, плотина.

Общие понятия о гидротехнических сооружениях

Гидротехническое сооружение – это сооружение для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод [1]. Гидротехнические сооружения: сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязненных жидкими отходами, включая плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водо-хранилищ, берегов и дна русел рек; сооружения (дамбы), ограждающие золошлакоотвалы и хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; сооружения систем технического водоснабжения, системы гидротранспорта отходов и стоков, подачи осветленной воды, устройства от размывов на каналах, сооружения морских нефтегазопромыслов. [2]

Типы сооружений [3]

Водоподпорные

- Основным водоподпорным сооружением является *плотина*, перегородившая русло и создающая подпор, т.е. существенную разность уровней воды у сооружения.

Регуляционные

- Регуляционные сооружения: 1 – грушевидная дамба; 2 – траверсы; 3 – шпоровидная дамба; 4 – голова дамбы
- Руслорегулирующие сооружения должны регулировать эрозионную деятельность потоков в их руслах, а также изменять режим потока в пределах его русла в направлении, требуемом потребителем, и защищать русла от вредных воздействий потока.

Водопроводящие

- Водопроводящие сооружения представляют собой искусственные русла, выполненные в грунте (каналы, подземные туннели) и на поверхности земли (лотки и трубы из различных материалов).

Гидроузлы

- Комплекс гидротехнических сооружений, объединенных общей водохозяйственной целью и расположенных территориально в определенном месте, носит название *узла гидротехнических сооружений или гидроузла* (гидротехнического узла).

Гидросооружения и водный поток

- Гидротехнические сооружения строятся и эксплуатируются в условиях взаимодействия с водным потоком. Водный поток оказывает разнообразное воздействие на эти сооружения:
- Механическое
- Динамическое.

ГЭС ИТАИПУ

Выдающимся гидротехническим сооружением можно назвать гидроэлектрическую плотину Итаипу (Рис.1).

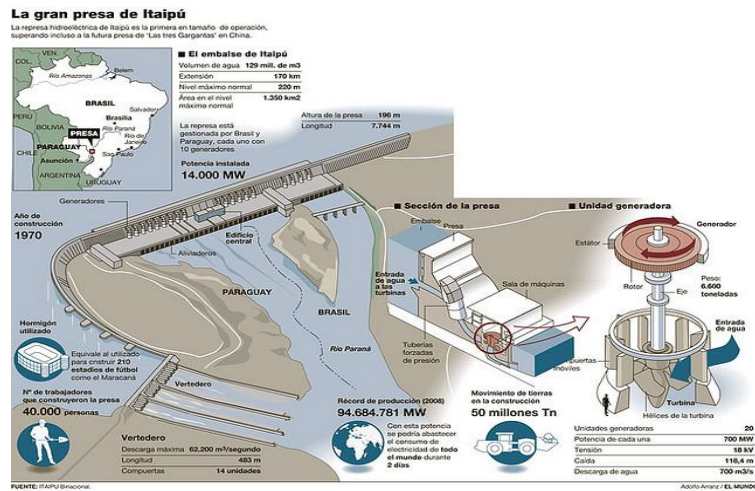


Рис. 1

Гидроэлектрическая плотина Итаипу (Рис. 2) (гуарани, 'камень, который звучит') - двухнациональное предприятие между Парагваем и Бразилией, расположенное на их границе на реке Паране. Его плотина, сделанная из бетона, скалы и земли, размещается в 14 км на севере от Моста Дружбы (координаты на карте: 25°24'S 54°35'O), гранича с парагвайским городом Hernandarias, в западной части Водомства Параны, и с Вила К, в восточной части Бразилии; также она находится в 16,2 км на севере от моста, который соединяет Foz do Iguaçu с Аргентиной, и является самым большим гидроэлектрическим сооружением Южного и Западного полушарий. Площадь, подразумеваемая в проекте, распространяется от Foz do Iguaçu, в Бразилии, и Города Востока, в Парагвае, до Guaíra (Парагвай). Искусственное озеро плотины содержит 29 000 м³ воды, ширина по прямой линии – 200 км, приблизительная площадь 1400 км². Стоимость плотины с 20 порождающими турбинами, 10 из которых ра-

ботаю в частоте парагвайской сети (50 Hz) и десять в частоте электрической бразильской сети (60 Hz), оценивается в 15 000 миллионов евро.

У единиц 50 Hz номинальная сила 823.6 MVA, фактор силы 0.85 и вес 3343 t, у единиц 60 Hz номинальная сила 737,0 MVA, фактор силы 0,95 и вес 3242 t. Номинальное напряжение всех единиц 18 kV. Турбины U07 - типа турбина Francis, с номинальной силой 715 MW и номинальным



Рис 2

645-мовым состоянии м/с. Подстанция плотины изолирована газом hexafluoro серы (SF6), которая позволяет большое сжатие проекта. Для каждой порождающей группы существует банк трансформаторов monofásicos, поднимающих напряжение от 18 kV до 500 kV. [4]

Энергия, произведенная Itaipu, предназначенная для Бразилии распределяется предприятием Фурнас Централес Электрикас В. А., а энергия, предназначенная для Парагвая, распределяется Национальным управлением электричества (ANDE).

Литература

1. ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
2. СНиП 33-01-2003
3. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., и др. Гидротехнические сооружения часть 1. М: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – С.21-28.
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Represa_de_Itaip%C3%BA .

HYDRAULIC STRUCTURES AND DAM ITAIPU
LEYDY TATIANA GUEVARA RADA, *student, (Colombia),*
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

This is the article about main of the hydraulic structures and one of the grandest hydroelectric dams Itaipu which is related on the river Paraná in Latin America and occupies the second place in energy production on a global scale.



О ПРОБЛЕМЕ УЧЕТА КОЛЕБАНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.Е. ГРЫШАНКОВА, студент
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
gris.anya2013@yandex.ru

Проблеме учета колебаний при расчете инженерных конструкций не уделялось большого внимания до знаменитого крушения Такомского моста в США. В работе рассматриваются причины разрушения и некоторые принципы учета колебаний при расчете конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колебания конструкции, безопасность конструкций, вертикальные и крутильные колебания, резонанс, напряжения.

Колебания конструкций - многократно повторяющееся возвратно-поступательное или возвратно-вращательное движение элементов конструкций вследствие их упругих деформаций под действием сил, достаточно быстро меняющихся во времени.

При колебаниях конструкций элементы конструкций перемещаются относительно их устойчивого положения статического равновесия (колебания мостов, высотных сооружений, фундаментов машин и т.п.) или общего движения (колебания летательных аппаратов, вагонов, автомобилей и т.п.). Колебания конструкций классифицируются по нескольким признакам. По типу деформаций различают продольные (сжатия — растяжения), поперечные (изгибные, сдвиговые), крутильные и смешанные; по характеру перемещений во времени — периодические и непериодические.

Значительные колебания опасны для прочности и устойчивости конструкций, примером чего служат многочисленные разрушения зданий и сооружений при землетрясениях, поломки валов двигателей, случай разрушения вследствие колебаний под действием ветра Такомского висячего моста, сооруженного в США в 1940.

Систематические, даже умеренные колебания конструкций, безопасные для самой конструкции, могут вредно влиять на здоровье людей, а также на качество точных производственных процессов. Поэтому большое значение имеет борьба с колебаниями конструкций путем расчета конструкций на колебания при их проектировании и осуществление мероприятий с целью уменьшения колебаний. Вопросы расчёта конструкций на колебания и способы уменьшения колебаний конструкций рассматриваются в теории колебаний механических систем.

Трагедия на Такомском мосту (Рис.1).

Такомский мост, или мост Такома-Нэрроуз — висячий мост в США, в штате Вашингтон, построенный через пролив Такома-Нэрроуз (часть залива Пьюджет-Саунд). Первоначальный вариант моста был спроектирован

Леоном Мойсейфом и открыт для движения 1 июля 1940 года. Еще во время возведения строители дали ему прозвище «Галопирующая Герти» (англ. Galloping Gertie) из-за того, что в ветреную погоду его дорожное полотно сильно раскачивалось (из-за малой высоты балки жесткости).

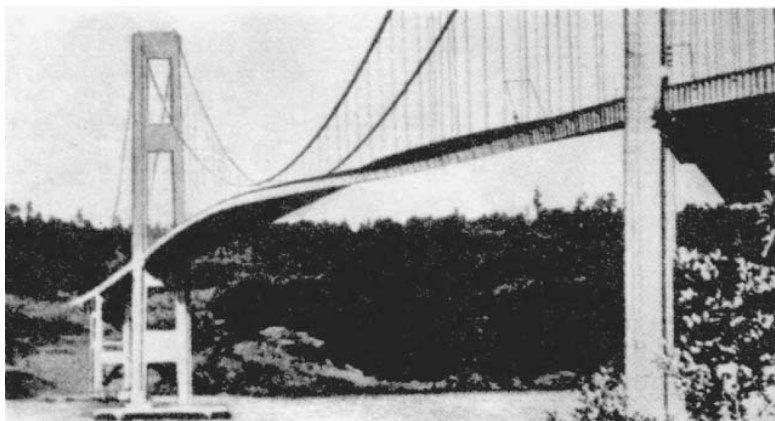


Рис.1. Такоомский мост

Основные характеристики моста: общая длина — 1810 м; длина центрального пролёта — 854 м; ширина — 11,9 м; диаметр основных (несущих) тросов — 438 мм; стрела провеса (разность между высотой троса у пилонов и высотой в точке его наибольшего провеса) — 70,7 м; пилоны — стальные на бетонных быках; высота балки жесткости — 2,44 м [1].

Обрушение Такоомского моста.

7 ноября 1940 года в 11:00 по местному времени при ветре скоростью около 65 км/час произошла авария, которая привела к разрушению центрального пролета моста [2]. По счастью в это время движение через мост было весьма слабым и единственный водитель машины, оказавшейся на мосту, успел в последнюю минуту покинуть её и спастись бегством. Процесс разрушения был снят на 16-миллиметровую цветную киноплёнку Kodachrome. На основе съёмки был создан документальный фильм «The Tacoma Narrows Bridge Collapse» (1940), позволивший впоследствии подробно изучить процесс разрушения (Рис.2).



Рис.2. Обрушение Такомоского моста [1].

Авария моста оставила значительный след в истории науки и техники. Разрушение моста способствовало исследованиям в области аэродинамики и аэроупругости конструкций и изменению подходов к проектированию всех большепролетных мостов в мире, начиная с 1940-х годов. Во многих учебниках причиной аварии называется явление вынужденного механического резонанса, когда частота колебаний ветрового потока совпадает с собственной частотой колебаний конструкций моста. Более точно причиной стал аэроупругий флаттер (динамические крутильные колебания) из-за недоучета динамических ветровых нагрузок при проектировании сооружения [3].

Процесс разрушения описывается следующим образом. Обрыв подвесок центрального пролета повлек провисание боковых пролетов и наклон пилонов. Сильные вертикальные и крутильные колебания моста явились следствием чрезмерной гибкости конструкции и относительно малой способности моста поглощать динамические силы. Мост был запроектирован и правильно рассчитан на действие статических нагрузок, в том числе и ветровой, но аэродинамическое действие нагрузки не было учтено. Крутильные колебания возникли в результате действия ветра на проезжую часть около горизонтальной оси, параллельной продольной оси моста. Крутильные колебания усиливались вертикальными колебаниями тросов. Опускание троса с одной стороны моста и поднятие его с другой вызвали наклон проезжей части и породили крутильные колебания.

Демонтаж пилонов и боковых пролетов был начат вскоре после аварии и продолжался до мая 1943 года [4]. При строительстве нового моста

были использованы анкерные устои, быки (основания) пилонов и некоторые другие составные части старого моста. Полностью восстановленный мост (англ. Westbound bridge) был открыт 14 октября 1950 года и стал третьим на тот момент самым длинным висячим мостом в мире (общая длина — 1822 м, длина центрального пролета — 853 м). Для дополнительной устойчивости и снижения аэродинамических нагрузок в конструкцию нового моста были введены открытые фермы, стойки жесткости, деформационные швы и системы гашения вибраций. Пропускная способность моста — 60 тыс. автомобилей в сутки.

В 2002—2007 годах для увеличения пропускной способности шоссе рядом со старым был возведен еще один мост (англ. Eastbound bridge), имеющий общую длину 1645,9 м, длину центрального пролета 853,4 м и высоту пилонов 155,4 м.

После трагедии стало активно изучаться влияние колебаний при расчете инженерных конструкций. Так же одним из важных аспектов изучения стало явление резонанса.

Влияние резонанса на величину напряжений.

Если на балке расположена машина с вращающимся грузом, имеющим эксцентриситет по отношению к оси вращения (Рис.3), то сила инерции груза будет вызывать в балке напряжения и деформации, периодически меняющие свой знак [5].

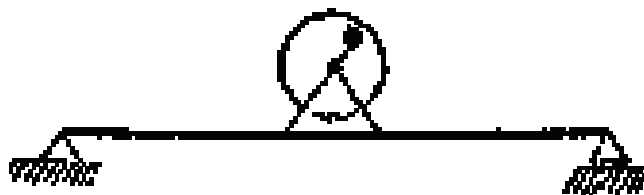


Рис.3. Расчетная схема неуравновешенного ротора машины

Балка будет совершать колебания с периодом, равным периоду вращения груза. Это будут так называемые вынужденные колебания. Если период вынужденных колебаний совпадет с периодом свободных колебаний стержня, то мы получим явление резонанса, при котором амплитуда (размах) колебаний будет резко расти с течением времени. Наличие сил трения, сопротивление воздуха и т. д. ограничивают на практике рост этой амплитуды; однако она может достичь очень большой величины, значительно превышающей те деформации, которые испытывала бы конструкция под действием ускорений той же величины, но не меняющих знака.

Известен случай, когда при резонансе угол закручивания вала увеличился в шесть раз по сравнению с тем углом, который был до наступления

резонанса, — это был случай поломки коленчатых валов двигателей «Цепелина» при первом его перелете через Атлантический океан.

Таким образом, явление резонанса, если оно длится некоторое время, а не сбивается немедленно по возникновении, ведет к постепенному росту деформаций и пропорциональных им напряжений в конструкции, что может вызвать поломку. Поэтому, как правило, при проектировании конструкций, испытывающих переменные ускорения с постоянным периодом, необходимо избежать возникновения явления резонанса.

Так как период раскачивающих (возмущающих) сил обычно является заданным, то в распоряжении проектировщика остается лишь период собственных свободных колебаний конструкции, который надо подобрать так, чтобы он в должной мере отличался от периода изменений возмущающей силы. Этот вопрос требует внимательного отношения и кажется интересным для углубленного изучения.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что влияние колебаний конструкций – важная проблема при расчете и проектировании, и что этот вопрос активно изучается и на сегодняшний день.

Литература

1. <http://fizportal.ru/destruction-bridge>
2. <http://www.limejuice.ru/offtop/820-takomskijj-most.-istorija-odnoj-katastrofy.html>
3. <http://truba.com/video/108093>
4. *Дмитриев Ф.Д.* Крушения инженерных сооружений. – М: Гос. издат. лит. по строит. и арх., 1953 г. – 188с.
5. *Беляев Н.М.* Сопроотивление материалов. М.: Гос. издат. техн.-теор. лит., 1954. – 856с.

PROBLEM OF VIBRATIONS IN CALCULATING ENGINEERING STRUCTURES

A.E. GRYSHANKOVA

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
gris.anya2013@yandex.ru

Accounting problems fluctuations when calculating engineering designs not pay more attention to the famous wreck of Tacoma Narrows Bridges in the United States. The paper discusses the reasons for failure and some accounting principles fluctuations in the calculation of structures.

KEYWORDS: design variations, safety - intercept kinds of structures, vertical and torsional vibrations, resonance, tension.



РАСЧЕТ РАДИАЛЬНО - НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЕМ

Н.Ю. ЦЫБИН, студент
ФГБОУ ВПО «МГСУ»
nikitacybin@gmail.com

Приведено решение задачи определения напряженно-деформированного состояния тонкой пластинки с отверстием, когда на его внешней поверхности заданы поверхностные силы. В данной задаче рассматривается влияние неоднородности материала на концентрацию напряжений вблизи отверстия. Задача сводится к системе дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пластинка с отверстием, напряженно-деформированное состояние, плоская задача, неоднородность, концентрация напряжений.

Рассматривается известная задача Кирша о концентрации напряжений вблизи малого круглого отверстия в прямоугольной пластинке, растягиваемой равномерными усилиями p_0 в одном направлении [1] (рис.1).

Решение этой задачи для однородного материала получено в предположении, что $b \gg a$. Это предположение позволяет получить аналитическое решение, если положить $b \rightarrow \infty$. Характерными величинами в задаче Кирша являются напряжения σ_x вблизи отверстия ($\sigma_x = 3p_0$) и вблизи края пластинки ($\sigma_x = p_0$)

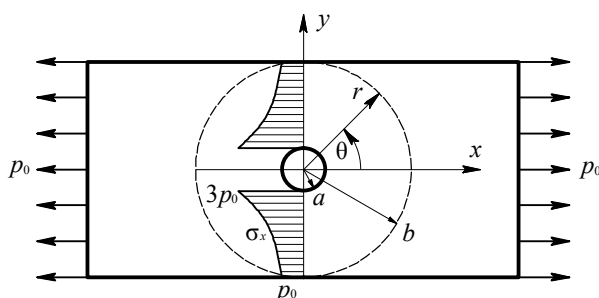


Рис. 1.

Прежде чем перейти к решению задачи для радиально неоднородной пластинки, проанализируем, что означает «намного больше» в неравенстве $b \gg a$. С этой целью рассмотрим решение вспомогательной задачи о напряженном состоянии однородного кольца (рис. 2), нагруженного по внешнему контуру нормальной и касательной нагрузкой:

$$p(\theta) = \frac{P_0}{2}(1 + \cos 2\theta); \quad q(\theta) = \frac{P_0}{2} \sin 2\theta. \quad (1)$$

Эта нагрузка соответствует напряжениям в пластинке на контуре $r=b$ (показан пунктиром на рис. 1).

Граничные условия в данной задаче будут иметь вид (рис. 2).

Введем обозначение $\beta = b/a$. После решения получим

$$\sigma_{\theta}(r=a, \theta=\pi/2) = p_0 \frac{3\beta^2(\beta^2+1)}{(\beta^2-1)^2}$$

Анализируя данное выражение, можно отметить, что уже при $\beta=10$ данное решение с погрешностью 3% соответствует решению задачи Кирша для бесконечной пластинки. На рис. 3 изображена невязка решения δ для кольца конечных размеров с решением задачи Кирша в зависимости от параметра β .

Дальнейшее решение задачи для радиально неоднородного материала проводилось в соответствии с расчет-

$$\left. \begin{aligned} r=a, \sigma_r = \tau_{r\theta} = 0; \\ r=b, \sigma_r = p(\theta), \tau_{r\theta} = -q(\theta). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ной схемой, показанной на рис. 2 при $\beta = b/a = 10$.

Для плоского напряженного состояния, в случае, когда механические характеристики зависят от радиуса, система уравнений равновесия в перемещениях имеет вид [2,3]

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} \frac{\mu}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} \left[\frac{d}{dr} \left[\frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right] + \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right] + \\ & + \frac{u}{r} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} \right) - \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right] + \\ & + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} \right) - \frac{1}{r} \frac{\mu(5\lambda+6\mu)}{\lambda+2\mu} \right] - \\ & - 3 \frac{\partial \varepsilon_e}{\partial r} \left(K - \frac{K\lambda}{\lambda+2\mu} \right) - 3\varepsilon_e \frac{d}{dr} \left(K - \frac{K\lambda}{\lambda+2\mu} \right) + R = 0; \\ & \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \left[\frac{d\mu}{dr} + \frac{\mu(5\lambda+6\mu)}{r(\lambda+2\mu)} \right] + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} \mu + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + \\ & + \frac{\partial v}{\partial r} \left(\frac{d\mu}{dr} + \frac{\mu}{r} \right) - \frac{v}{r} \left(\frac{d\mu}{dr} + \frac{\mu}{r} \right) - 3 \frac{1}{r} \frac{\partial \varepsilon_e}{\partial \theta} \left(K - \frac{K\lambda}{\lambda+2\mu} \right) + \Theta = 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

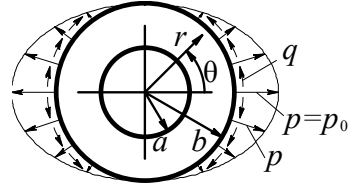


Рис. 2.

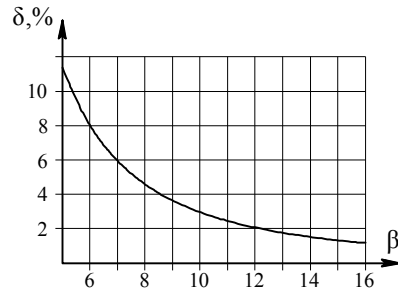


Рис. 3.

где

$$\lambda = \frac{Ev}{1-v^2}; \quad \mu = \frac{E}{3(1-v)}; \quad K = \frac{E}{3(1-v)}.$$

Решение системы (3) будем искать в виде, вытекающем из обобщенного решения Митчелла плоской задачи в полярных координатах [4]:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = & \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ \psi_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \psi_1 \end{pmatrix} \cdot \theta + \begin{pmatrix} \varphi_2 \\ \psi_2 \end{pmatrix} \cdot \theta \sin \theta + \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \psi_3 \end{pmatrix} \cdot \theta \cos \theta + \\ & + \begin{pmatrix} \varphi_4 \\ \psi_4 \end{pmatrix} \cdot \sin \theta + \begin{pmatrix} \varphi_5 \\ \psi_5 \end{pmatrix} \cdot \cos \theta + \sum_{n=2}^{\infty} \left[\begin{pmatrix} \varphi_{sn} \\ \psi_{sn} \end{pmatrix} \sin n\theta + \begin{pmatrix} \varphi_{cn} \\ \psi_{cn} \end{pmatrix} \cos n\theta \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Подстановка (4) в (2) приводит к бесконечной частично распадающейся системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Рассмотрим задачу о кольце, находящимся под действием нормальных и касательных нагрузок (рис. 1), приложенных на внешнем радиусе, изменяющихся по закону (1).

Закон изменения модуля упругости представим в виде

$$E(r) = E_0 \left[1 + (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m \right]; \quad k = \frac{E_1}{E_0}, \quad (5)$$

где E_1 – модуль упругости на внутреннем радиусе, а коэффициент m характеризует скорость затухания.

Для удовлетворения граничным условиям (2) в выражениях для напряжений достаточно ограничиться функциями $\varphi_0, \psi_1, \varphi_{c2}, \psi_{s2}$.

Ниже приведены выражения для напряжений после подстановки в них (4).

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r = & \left(\frac{d\varphi_0}{dr} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{\varphi_0}{r} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} + \frac{\psi_1}{r} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} \right) + \\ & + \left(\frac{d\varphi_{c2}}{dr} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{\varphi_{c2}}{r} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} + 2 \frac{\psi_{s2}}{r} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} \right) \cos 2\theta; \\ \sigma_\theta = & \left(\frac{d\varphi_0}{dr} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} + \frac{\varphi_0}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + \frac{\psi_1}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right) + \\ & + \left(\frac{d\varphi_{c2}}{dr} \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} + \frac{\varphi_{c2}}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} + 2 \frac{\psi_{s2}}{r} \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right) \cos 2\theta; \\ \tau_{r\theta} = & \left(\frac{d\psi_1}{dr} \mu - \frac{\psi_1}{r} \mu \right) \theta + \left(\frac{d\psi_{s2}}{dr} \mu - \frac{\psi_{s2}}{r} \mu - 2 \frac{\varphi_{c2}}{r} \mu \right) \sin 2\theta. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Сравнивая между собой третье выражение из (6) и второе из (2), учитывая (1), приходим к выводу, что $\psi_1 = 0$. В результате разрешающие дифференциальные уравнения для нашей задачи принимают вид:

$$\left. \begin{aligned}
& \frac{d^2 \varphi_0}{dr^2} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} + \frac{d\varphi_0}{dr} \left[\frac{d}{dr} \left[\frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + \\
& \quad + \frac{\varphi_0}{r} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \right) - \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] = 0; \\
& -2 \frac{1}{r} \frac{d\varphi_{e2}}{dr} \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + 2\mu} - 2 \frac{1}{r} \varphi_{e2} \left[\frac{d\mu}{dr} + \frac{1}{r} \frac{\mu(5\lambda + 6\mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + \frac{d^2 \psi_{s2}}{dr^2} \mu - \\
& -4 \frac{1}{r} \psi_{s2} \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} + \frac{d\psi_{s2}}{dr} \left(\frac{d\mu}{dr} + \frac{\mu}{r} \right) - \frac{1}{r} \psi_{s2} \left(\frac{d\mu}{dr} + \frac{\mu}{r} \right) = 0; \\
& \frac{d^2 \varphi_{e2}}{dr^2} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} - 4 \frac{\varphi_{e2}}{r} \frac{\mu}{r} + \frac{d\varphi_{e2}}{dr} \left[\frac{d}{dr} \left[\frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + \\
& \quad + \frac{\varphi_{e2}}{r} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \right) - \frac{1}{r} \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right] + 2 \frac{1}{r} \frac{d\psi_{s2}}{dr} \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + 2\mu} + \\
& \quad + 2 \frac{\psi_{s2}}{r} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \right) - \frac{1}{r} \frac{\mu(5\lambda + 6\mu)}{\lambda + 2\mu} \right] = 0.
\end{aligned} \right\} (7)$$

Подставляя выражение для модуля упругости (5) в систему уравнений (7), получим

$$\left. \begin{aligned}
& r^2 \frac{d^2 \varphi_0}{dr^2} \left[(k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] + r \frac{d\varphi_0}{dr} \left[(k-1)(1-m) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] - \\
& \quad - \varphi_0 \left[(k-1)(1+vm) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] = 0; \\
& r^2 (v-1) \frac{d^2 \psi_{s2}}{dr^2} \left[- (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m - 1 \right] + r(v-1) \frac{d\psi_{s2}}{dr} \left[(k-1)(m-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m - 1 \right] + \\
& \quad + \psi_{s2} \left\{ (k-1)[(1-m)v-9+m] \left(\frac{a}{r} \right)^m + v-9 \right\} + \\
& \quad + 2r(1+v) \frac{d\varphi_{e2}}{dr} \left[- (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m - 1 \right] + \\
& \quad + 2\varphi_{e2} \left\{ (k-1)[(1-m)v-3+m] \left(\frac{a}{r} \right)^m - 3+v \right\} = 0; \\
& r(1+v) \frac{d\psi_{s2}}{dr} \left[(k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] + \psi_{s2} \left\{ (k-1)[(1-2m)v-3] \left(\frac{a}{r} \right)^m + v-3 \right\} + \\
& \quad + r^2 \frac{d^2 \varphi_{e2}}{dr^2} \left[(k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] + r \frac{d\varphi_{e2}}{dr} \left[(k-1)(1-m) \left(\frac{a}{r} \right)^m + 1 \right] + \\
& \quad + \varphi_{e2} \left\{ (k-1)[(2-m)v-3] \left(\frac{a}{r} \right)^m + 2v-3 \right\} = 0.
\end{aligned} \right\} (8)$$

Напряжения (6) с учетом (5) будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{E_0}{\nu^2-1} \left[1 + (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m \right] \left[\left(\frac{d\varphi_{c2}}{dr} + \frac{\nu}{r} \varphi_{c2} + \frac{2\nu}{r} \Psi_{s2} \right) \cos 2\theta + \frac{d\varphi_0}{dr} + \frac{\nu}{r} \varphi_0 \right]; \\ \sigma_\theta &= -\frac{E_0}{\nu^2-1} \left[1 + (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m \right] \left[\left(\nu \frac{d\varphi_{c2}}{dr} + \frac{\varphi_{c2}}{r} + \frac{2\Psi_{s2}}{r} \right) \cos 2\theta + \nu \frac{d\varphi_0}{dr} + \frac{\varphi_0}{r} \right]; \\ \tau_{r\theta} &= \frac{E_0}{2(\nu+1)} \left[1 + (k-1) \left(\frac{a}{r} \right)^m \right] \left(\frac{d\Psi_{s2}}{dr} - \frac{\Psi_{s2}}{r} - \frac{2\varphi_{c2}}{r} \right) \sin 2\theta. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Введем новую безразмерную переменную $\rho = r/a$, $a \leq r \leq b$; $1 \leq \rho \leq \beta$, где $\beta = b/a$, а также новые безразмерные функции

$$\left. \begin{aligned} [\bar{\varphi}_0, \bar{\varphi}_{c2}, \bar{\Psi}_{s2}] &= \frac{E_0}{p_0 a} [\varphi_0, \varphi_{c2}, \Psi_{s2}]; \\ [\bar{\sigma}_r, \bar{\sigma}_\theta, \bar{\tau}_{r\theta}] &= \frac{1}{p_0} [\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}]. \end{aligned} \right\}$$

В результате уравнения (8), (9) примут вид

$$\left. \begin{aligned} \rho^2 \frac{d^2 \bar{\varphi}_0}{d\rho^2} [(k-1)\rho^{-m} + 1] + \rho \frac{d\bar{\varphi}_0}{d\rho} [(k-1)(1-m)\rho^{-m} + 1] - \\ - \bar{\varphi}_0 [(k-1)(1+\nu m)\rho^{-m} + 1] = 0; \\ \rho^2 (\nu-1) \frac{d^2 \bar{\Psi}_{s2}}{d\rho^2} [-(k-1)\rho^{-m} - 1] + \\ + \rho (\nu-1) \frac{d\bar{\Psi}_{s2}}{d\rho} [(k-1)(m-1)\rho^{-m} - 1] + \\ + \bar{\Psi}_{s2} \{ (k-1)[(1-m)\nu - 9 + m]\rho^{-m} + \nu - 9 \} + \\ + 2\rho(1+\nu) \frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} [-(k-1)\rho^{-m} - 1] + \\ + 2\bar{\varphi}_{c2} \{ (k-1)[(1-m)\nu - 3 + m]\rho^{-m} - 3 + \nu \} = 0; \\ \rho(1+\nu) \frac{d\bar{\Psi}_{s2}}{d\rho} [(k-1)\rho^{-m} + 1] + \bar{\Psi}_{s2} \{ (k-1)[(1-2m)\nu - 3]\rho^{-m} + \nu - 3 \} + \\ + \rho^2 \frac{d^2 \bar{\varphi}_{c2}}{d\rho^2} [(k-1)\rho^{-m} + 1] + \\ + \rho \frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} [(k-1)(1-m)\rho^{-m} + 1] + \bar{\varphi}_{c2} \{ (k-1)[(2-m)\nu - 3]\rho^{-m} + 2\nu - 3 \} = 0; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned}
\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{p_0} &= -\frac{1}{v^2-1} \left[1 + (k-1) \left(\frac{1}{\rho} \right)^m \right] \left[\left(\frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} + \frac{v}{\rho} \bar{\varphi}_{c2} + \frac{2v}{\rho} \bar{\psi}_{s2} \right) \cos 2\theta + \right. \\
&\quad \left. + \frac{d\bar{\varphi}_0}{d\rho} + \frac{v}{\rho} \bar{\varphi}_0 \right]; \\
\bar{\sigma}_\theta = \frac{\sigma_\theta}{p_0} &= -\frac{1}{v^2-1} \left[1 + (k-1) \left(\frac{1}{\rho} \right)^m \right] \left[\left(v \frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} + \frac{\bar{\varphi}_{c2}}{\rho} + \frac{2\bar{\psi}_{s2}}{\rho} \right) \cos 2\theta \right. \\
&\quad \left. + v \frac{d\bar{\varphi}_0}{d\rho} + \frac{\bar{\varphi}_0}{\rho} \right]; \\
\bar{\tau}_{r\theta} = \frac{\tau_{r\theta}}{p_0} &= \frac{1}{2(v+1)} \left[1 + (k-1) \left(\frac{1}{\rho} \right)^m \right] \left[\left(\frac{d\bar{\psi}_{s2}}{d\rho} - \frac{\bar{\psi}_{s2}}{\rho} - \frac{2\bar{\varphi}_{c2}}{\rho} \right) \sin 2\theta \right].
\end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Далее выразим граничные условия через искомые функции

$$\left. \begin{aligned}
\rho = 1, \quad \frac{d\bar{\varphi}_0}{d\rho} + v\bar{\varphi}_0 &= 0, \\
\frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} + v\bar{\varphi}_{c2} + 2v\bar{\psi}_{s2} &= 0, \\
\frac{d\bar{\psi}_{s2}}{d\rho} - \bar{\psi}_{s2} - 2\bar{\varphi}_{c2} &= 0; \\
\rho = \beta, \quad \frac{d\bar{\varphi}_0}{d\rho} + \frac{v}{\beta}\bar{\varphi}_0 &= -\frac{v^2-1}{2+2(k-1)\beta^{-m}}, \\
\frac{d\bar{\varphi}_{c2}}{d\rho} + \frac{v}{\beta}\bar{\varphi}_{c2} + \frac{2v}{\beta}\bar{\psi}_{s2} &= -\frac{v^2-1}{2+2(k-1)\beta^{-m}}, \\
\frac{d\bar{\psi}_{s2}}{d\rho} - \frac{\bar{\psi}_{s2}}{\beta} - \frac{2\bar{\varphi}_{c2}}{\beta} &= -\frac{v+1}{1+(k-1)\beta^{-m}}.
\end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решение системы уравнений (10) с граничными условия (12) проводилось численно в программном комплексе «Maple».

Большой практический интерес представляет оценка влияния параметров неоднородности на концентрацию напряжений вблизи отверстия. На рис. 4 изображены зависимости модуля упругости (5) для различных параметров m и k .

Зависимость безразмерных касательных напряжений в кольце при $\theta = \pi/2$ и $\rho = 1$ изображена на рис. 5 для различных зависимостей модуля упругости. Здесь и далее для однородного материала зависимость изображена штрихпунктирной линией.

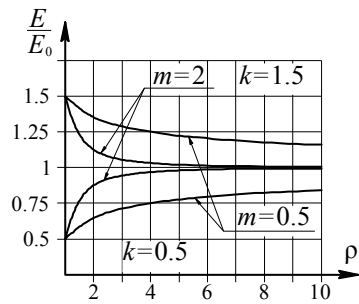


Рис. 4.

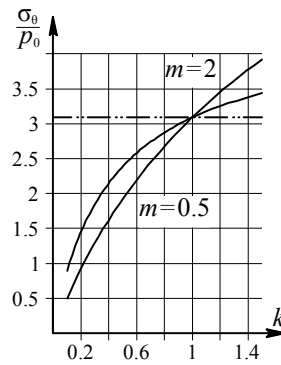


Рис. 5.

Ниже приведены эпюры радиальных и окружных напряжений для различных параметров неоднородности.

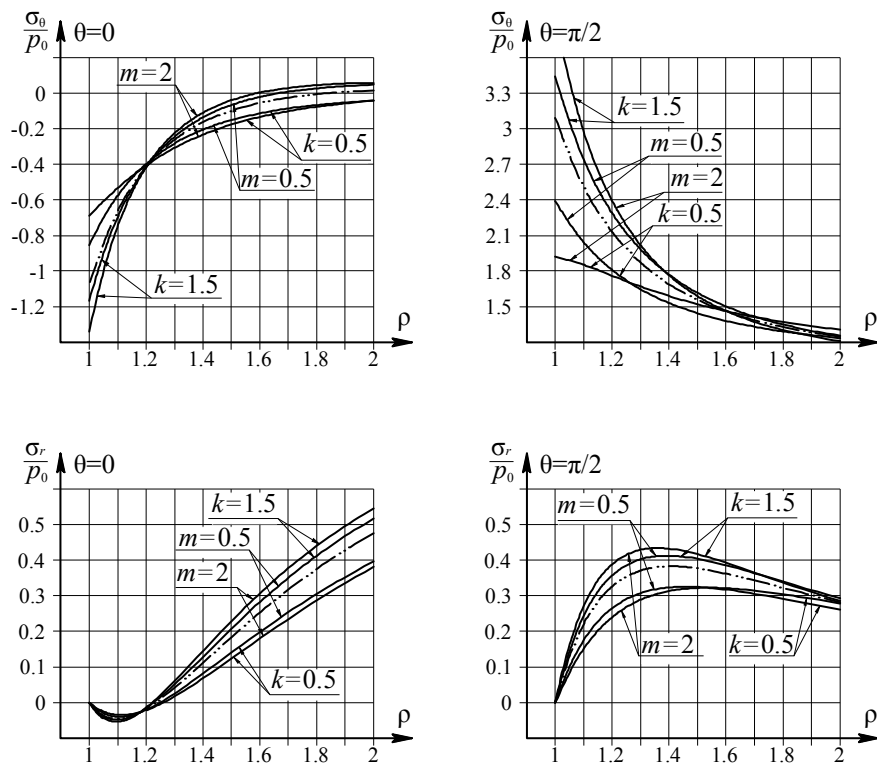


Рис. 6.

Заключение.

Для пластин с отверстиями, находящихся под действием растягивающих (сжимающих) сил необходимо учитывать влияние неоднородности, которая может быть вызвана особенностями производства (штамповка, неравномерное охлаждение), так как неоднородность оказывает существенное влияние на концентрацию напряжений. Для снижения концентрации напряжений необходимо существенно понижать модуль упругости материала по контуру отверстия [5,6 и др.].

Литература

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. – 560с.
2. Андреев В.И. Некоторые задачи и методы механики неоднородных тел. Изд-во АСВ, Москва 2002. – 286 с.
3. Андреев В.И. Об одном методе решения в перемещениях плоской задачи теории упругости для радиально неоднородного тела. Прикл. Мех., 1987, т. 23, №4, с. 16-23
4. Andreev V.I., Tsybin N.U. Generalization of Michel's solution to plane problem theory of elasticity in polar coordinates in the event of a radially inhomogeneous body. WIT Transactions on Modelling and Simulation, Vol. 57, 2014 p. 215-227
5. Andreev V.I. Optimization of thick-walled shells based on solutions of inverse problems of the elastic theory for inhomogeneous bodies. Computer Aided Optimum Design in Engineering XII. WIT Press. 2012, p.189-201
6. Andreev V.I., Avershyev A.S. Stationary Problem of Moisture-elasticity for Inhomogeneous thick-walled Shells. Advanced Materials Research Vols. 671-674, 2013 , p. 571-575

CALCULATION OF THE RADIALY INHOMOGENEOUS PLATE WITH HOLE

N.U. TSYBIN

Russia, 129337 Moscow, Jaroslavskoje Sh., 26, MGSU

There is a solution of the problem of stress-strain state determining in the inhomogeneous plate with a circular hole. The inhomogeneity can be induced by the temperature field, the explosion load or the neutron fluence. The problem reduces to a differential equation system with variable coefficients. The allowance for the variable Young's module lets to arrive to a more accurate solution.

KEYWORDS: *inhomogeneity, stress-strain state, plate with a circular hole, Mitchell's solution, stress buildup.*



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАЛЫЕ ВОДОТОКИ

Т.С. ИМОМНАЗАРОВ, студент (Россия)

Х.Ф. РОХАС МАРТИНЕС, студент (Колумбия)

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

На урбанизированных территориях, находящихся в прибрежных зонах рек, все чаще происходит их подтопления и затопления в период прохождения половодья или паводка, особенно катастрофических. За исторический период вода, воздействуя на ложе реки, выработала такое сечение русла, которое имело определенную пропускную способность, что давало возможность руслу вместе с поймой пропускать максимальные расходы без особых последствий техногенного характера для населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: русло реки, объёма твердых отходов, подтопление, прибрежные зоны

Усиление антропогенных воздействий в прибрежных зонах и прилегающих к водотокам территориях, сказалось и сказывается на пропускную способность русел рек.

Цель работы – показать влияние объема твердых бытовых отходов (ТБО) на свободную поверхность водотока вверх по течению от места завала ТБО.

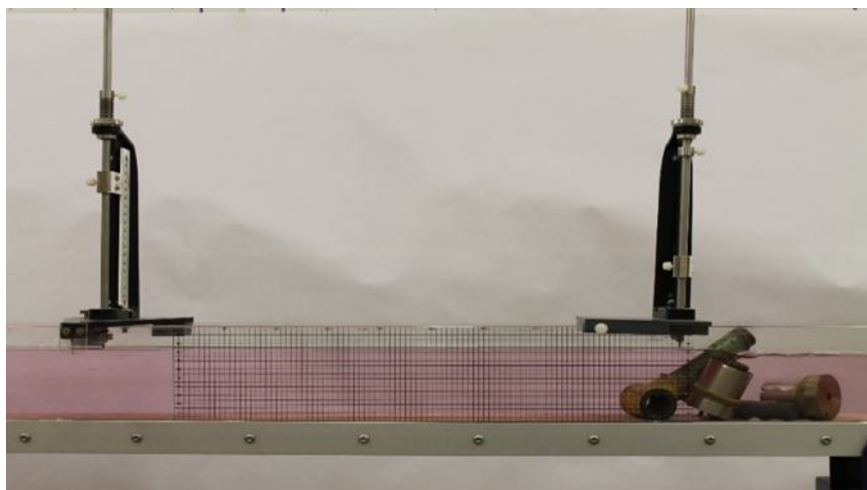


Рис 1. Фото малого зеркального лотка

Для решения этой цели был использован гидравлический лоток переменным уклоном при уклоне $i=0$ (рис.1) с размерами: длина: 1,55м; ширина: 78 мм; глубина: 110 мм;

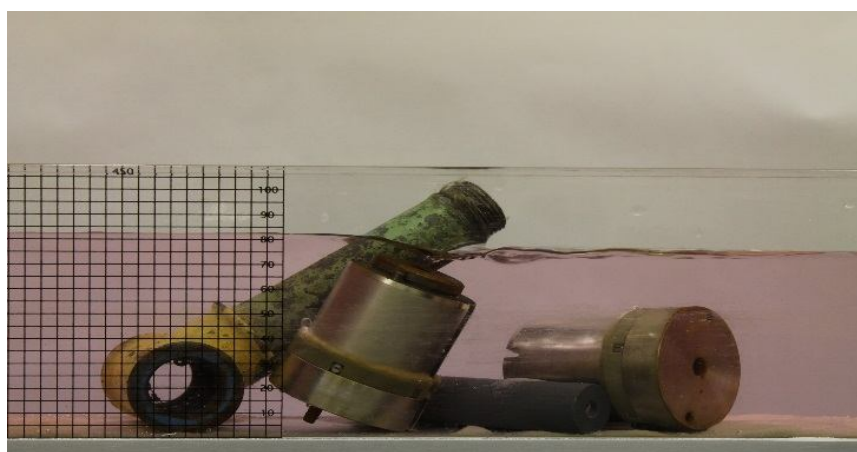


Рис.2. Погружения ТБО в поток воды.

При разных подаваемых расходах, измерялись отметки свободной поверхности воды в двух сечениях на расстоянии $L=50$ см. После этого *погружались* твёрдые отходы в лоток, предварительно определив их объём, и вновь измерялись отметки свободных поверхностей в створах.

По данным опыта (табл. 1 и 2) и построены графики изменения уровней свободной поверхности от объёма твердых отходов V створах (рис.3 и 4).

Табл.1. Отметки воды в створе 1 при увеличении расходов и объемов

$V \text{ см}^3$	Н1 при Q1	Н2 при Q2	Н3 при Q3	Н4 при Q4
0,00	2,20	5,50	7,60	11,80
33,00	2,20	5,50	7,70	11,90
153,00	2,30	5,60	7,80	12,10
273,00	2,30	5,70	7,90	12,30
349,00	2,40	5,80	8,10	12,50
Δh	0,20	0,30	0,50	0,70

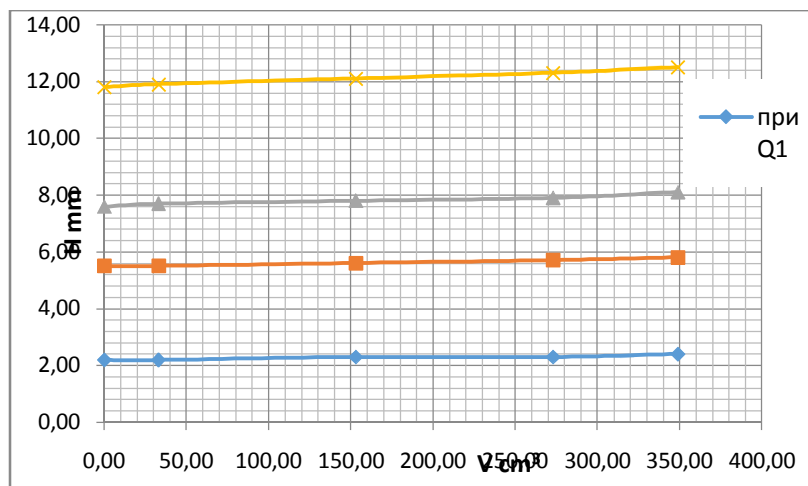


Рис.3. Изменения уровней свободной поверхности от объёма твердых отходов в створе 1

Табл.2. Отметки воды в створе 2 при увеличении расходов и объемов.

V cm ³	H1 (mm) при Q1	H2 (mm) при Q2	H3 (mm) при Q3	H4 (mm) при Q4
0,00	2,20	5,50	7,60	11,80
33,00	2,30	5,60	7,80	12,00
153,00	2,40	5,90	8,10	12,30
273,00	2,50	6,20	8,50	12,70
349,00	2,70	6,50	8,80	13,10
Δh	0,50	1,00	1,20	1,30

Исследование показали, что при прохождении волны половодья или паводка в местах скопления твёрдых отходов, происходит увеличение уровня водной поверхности

При прохождении наибольшего расхода с наибольшим объёмом бытовых отходов, уровень воды резко поднимается (табл.3 рис.5), то есть происходит изменения кривой подпора перед ТБО, что в натуре может привести к потоплению и затоплению территории.

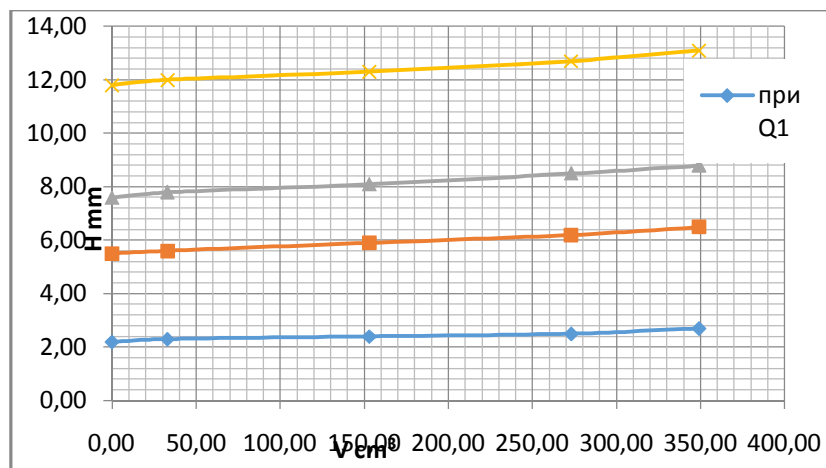


Рис.4. Изменения уровней свободной поверхности от объема твердых отходов V створе 2

Табл.3.

L	h1(V=33cm³)	h2(V=153cm³)	h3(V=273cm³)	h4(V=349cm³)
0	11,90	12,10	12,30	12,50
50	12,00	12,30	12,70	13,10
Δh	0,10	0,20	0,40	0,60

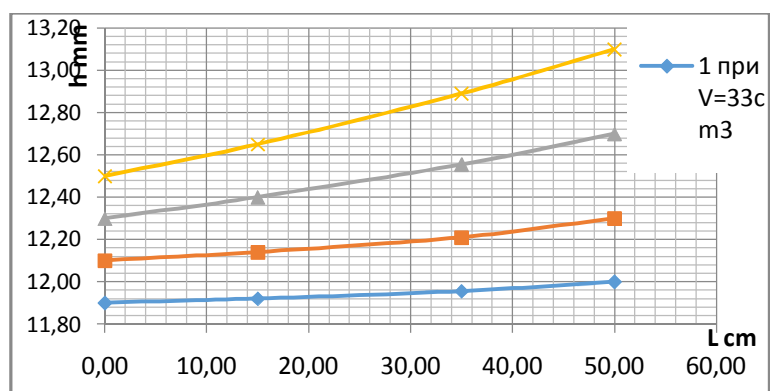


Рис.5. Изменение кривых подпора свободной поверхности между створами 1 и 2

Выводы: 1. На урбанизированных территориях, подверженных антропогенному воздействию, могут возникнуть и возникают катастрофические паводки, которые существенно поднимают уровень воды в реке, что приводит к подтоплению и затоплению территорий. И очень часто это возникает в следствие необдуманных действий людей, которые превращают реки в свалку бытовых и промышленных отходов, уменьшая пропускную способность русел. 2. Вода – агрессивная среда, а подтопление и затопление территорий приводит к взаимодействию воды и фундаментов здания, сооружений что может повлиять на возникновение эрозии материала фундаментов, то есть к уменьшению прочности и несущей способности.

Литература

[1] *Имомназаров Т.С., РохасМартинесХ.Ф.* «Лабораторные исследования воздействия антропогенного фактора на свободную поверхность водотока». Сборник научных статей студентов и аспирантов – победителей международных, всероссийских и университетских конкурсов. Москва РУДН 2014 г., стр 93 – 99. [*Imomnazarov T.S., RojasMartinez J.F.*, «Laboratornoeissledovanievozdeystviyaantropogenovofaktoranasvobodnuyupoverhnostivodotoka». Sborniknauchnihstateystudentoviaspirantov.Moskva RUDN., 2014 g., str. 93-99.]

[2] *Синиченко Е.К.* Антропогенные воздействия на характеристики водного режима рек Урала и Южного Приуралья. Материалы XLV научно-технической конференции инженерного факультета «Современные инженерные технологии». -М.: изд-во РУДН, 2009. Стр. 7. [

[3] *ШтеренлихтД.В.* Гидравлика: Учебникдлявузов. 3 - еизд., перераб. идоп. - М.: Колос, 2004.[*SherenlihtD.V.*Gidravlika: Uchebnikdlyavuzov 3 – eizd., pererab. I dop.- М. Kolos, 2004]

THE RESEARCH OF POSSIBLE EFFECTS OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON SMALL WATERCOURSES

T.S. IMOMNAZAROV, (*Russia*)
H.F. ROHAS MARTINES, (*Colombia*)
Peoples' Friendship University of Russia

In urban areas in the coastal areas of the rivers, are increasingly going their waterlogging and flooding during the period of high water or flooding, especially catastrophic. During the historical period the water acting on the bed of the river, has developed a cross-section of the channel, which had a certain bandwidth, which enabled channel with floodplain skip maximum expenditure without any consequences for the population manmade.

KEYWORDS: *river bed, the volume of solid waste, flooding, coastal zones.*



О ПРИЧИНАХ АВАРИЙ КРАНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

РАШИД КУРДКО РИДХА, студент, (Ирак)

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье рассматриваются некоторые аварии башенных и автомобильных кранов, и проводится анализ причин этих аварий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные краны, башенные краны, аварии, безопасность, прочность, усталостное разрушение, трещины, безопасная эксплуатация.

Грузоподъемные краны – это специальные машины, которые временно устанавливаются на стройке для поднятия и пространственного перемещения грузов большой грузоподъемности. На кранах с подъемными стрелами аварии чаще всего возникают в процессе опускания стрелы ниже горизонтального уровня или при ее подъеме в рабочее положение.

Основными наиболее характерными причинами аварий грузоподъемных кранов в основном являются:

- 1) подъем груза массой, превышающей грузоподъемность крана;
- 2) неисправность приборов безопасности;
- 3) нарушение проектов производства работ кранами (ППРк);
- 4) некачественное изготовление кранов;
- 5) неудовлетворительный ремонт кранового оборудования;
- 6) разрушение от ветровой нагрузки;
- 7) неисправность крановых путей и тупиковых упоров;
- 8) допуск к обслуживанию кранов необученных рабочих;
- 9) эксплуатация кранов, отработавших нормативный срок службы.
- 10) отсутствие технического надзора за безопасной эксплуатацией кранов в организациях;
- 11) другие нарушения требований промышленной безопасности.

Имеющиеся данные позволяют выделить три основные группы причин аварий башенных кранов (рис. 1):

- 1) несоответствие состояния конструкции кранов требованиям безопасности;
- 2) несоблюдение установленных требований к монтажу и демонтажу;
- 3) нарушение условий безопасной эксплуатации.

Основная причина аварийных ситуаций при монтаже (демонтаже) башенных кранов - отклонение технологии работ от установ-



Рис. 1.

ленных требований, чему способствует неполнота или неточность ее изложения в эксплуатационных документах заводов-изготовителей.

Рассмотрим несколько примеров разрушения грузоподъемных кранов:

1) В мартеновском цехе ОАО «МЭЖ» эксплуатировался мостовой электрический магнитно-грейферный кран грузоподъемностью 20 т, пролетом 30 м. При очередном подъеме грейфера со шлаком на высоту около 1 м произошел обрыв каната. Возникшие рывки от обрыва каната способствовали мгновенному разрушению ослабленного трещинами сечения главной приводной балки моста крана. В результате произошло разрушение и падение крана, при этом был смертельно травмирован крановщик.

2) В турбинном цехе ТЭЦ ОАО «Металлургический завод» с помощью мостового крана грузоподъемностью 10 т производился ремонт оборудования. В процессе подъема краном груза произошло разрушение и падение главной балки крана пролетом 20 м. Падение крана вызвало разрушение нижнего пояса главной фермы на расстоянии 8 м от опорной части крана, причем излом произошел в узле присоединения к поясу раскосов горизонтальной фермы. При исследовании излома было установлено наличие усталостных трещин в элементах сечения фермы. Усталостные трещины были обнаружены также в вертикальном листе верхнего пояса. Одна из них начиналась от нижней кромки листа в сварном шве, другая - в соединении пояса со стенкой. Авария произошла вследствие усталостного излома металла, вызванного длительным сроком эксплуатации крана при отсутствии тщательного надзора за состоянием его металлоконструкции.

3) При опускании стрелы крана для настройки концевого выключателя произошли поломка башни и падение крана в сторону противовеса, при этом был смертельно травмирован крановщик.

4) Аналогичная авария произошла во время работы крана КБ-405.1А. Стрела самопроизвольно опустилась ниже горизонтального положения из-за неисправности тормоза стреловой лебедки. Попытка поднять стрелу привела к разрушению башни и падению крана в сторону противовеса.

5) В 2006 году произошла авария автомобильного крана КС-3571-1 с несчастным случаем в «Гидропромжилстрой» (Башкортостан). В день аварии было начато возведение перекрытия кабельного канала возле здания Юмагузинской ГЭС с применением автокрана. Было необходимо убрать с дороги металлические будки и компрессорную станцию, которые мешали асфальтировать оставшийся участок дороги, и поставить их на уже забетонированный участок дороги, со стороны скалы. Работу выполняли не обученные работе



Рис. 2.

с краном рабочие. Автокран был установлен вплотную к компрессорной станции. Строповка компрессорной станции проводилась за четыре петли на ее крыше, что привело к асимметричному расположению центра тяжести груза (из-за отдельно стоящего на раме ресивера). В положении наименьшей устойчивости кран опрокинулся на железобетонный парапет дороги (рис. 2), и компрессорная станция упала на площадку замещения скалы правого борта подводного канала паводкового водосброса, находившегося на 4 м ниже уровня дороги.

б) Также в 2006 году произошла авария крана КС-4361А со смертельным исходом в посёлке Мошково Новосибирской обл. Необходимо было произвести зацепку 4-ветвевым стропом платформы неопределенного самоходного устройства на колесном ходу массой 4,8 т. Расстояние от центра платформы до оси поворотной части крана, стоявшего на внутриплощадочной дороге, составляло 9 м. При этом кран не был поставлен на все выдвижные опоры, не был введен в действие режим «работа крана без опор», что является обязательным. Таким образом, грузоподъемный кран со стрелой 15,5 м стоял на внутриплощадочной дороге базы без выставленных выносных опор, без ввернутых до упора винтов балансирной подвески, с ограничителем грузоподъемности, включенным в положение «работа на опорах» и табличкой указателя вылета стрелы 10,5 м. При подъеме указанного груза на вылете стрелы 9 м (перегруз по грузоподъемности составил 2,2 т) произошло опрокидывание крана. При падении кран перевернулся на левую сторону по направлению к железной дороге (на кабину машиниста). Стрела с деформированной корневой частью упала на грунт под углом примерно 90° к внутриплощадочной дороге (рис. 3).



Рис. 3.

Авария крана произошла из-за многочисленных нарушений правил безопасности технологии производства работ, руководства по эксплуатации крана, должностных и производственных инструкций специалистами и персоналом, обслуживающим кран:

- кран не был поставлен на все выдвижные опоры, ограничитель грузоподъемности не был введен в действие согласно паспортной характеристике при работе крана без опор;
- таблица указателя вылета крана не соответствовала установленному на грузоподъемный кран стреловому оборудованию;
- подъем и перемещение автомобильным краном груза, на 95 % превышающего его грузоподъемность при паспортной характеристике «без опор» на вылете 9 м.;
- отсутствие или неэффективность производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности, в том числе формальная проверка работы опасного производственного объекта;

- инженерно-технический работник по надзору за безопасной эксплуатацией грузоподъемных кранов не проверил наличие производственных инструкций и их выполнение при производстве работ обслуживающим персоналом;

- руководитель предприятия не назначил лицо, ответственное за безопасное производство работ кранами, не предоставил обученных стропальщиков, не обеспечил ведение работ грузоподъемным краном в соответствии с требованиями Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 19-382-00).

Заключение:

Башенные краны, по сравнению с другими видами подъемных механизмов, наиболее подвержены обрушению, что объясняется особенностями их конструкции. При большой высоте они имеют относительно небольшую колею (расстояние между рельсами не превышает 6 метров) и малую базу (расстояние между осями ходовых тележек на одном рельсе, также не более 6 метров). Поэтому башенные краны обладают высокой чувствительностью к условиям эксплуатации и их аварии чаще всего являются следствием неудовлетворительного обслуживания, монтажа и ремонта. По мере старения кранов, требования к работам по обеспечению их безопасной эксплуатации, должны ужесточаться. Для поддержания башенного крана в работоспособном состоянии необходимы профилактические и ремонтные работы, в том числе капитально-восстановительные работы кранов с разборкой и диагностированием состояния узлов конструкций. Безопасность эксплуатируемой строительной техники и, в первую очередь, такой сложной и тяжелой, как башенные краны - один из важнейших аспектов безопасности всей строительной отрасли.

Литература

1. Барсов И.П. Строительные машины и оборудование. – М.: Стройиздат, 1986. - 510 с.
2. Невзоров В.А., Полосин М.Д. Краны башенные и автомобильные. – М.: Изд-во Academia, 2011. – 416 с.
3. Жуков В.Г. Повышение безопасности эксплуатации башенных кранов на рельсовом ходу: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04: Новочеркасск, 2004. – 174 с.

**ON THE CAUSES OF CRANES ACCIDENTS
IN CIVIL ENGINEERING**

RASHID KURDKO RIDHA, (Iraq), student
Peoples' friendship university of Russia

This article discusses some of the accident tower and automobile cranes and analyzes the causes of these accidents.

KEYWORDS: mobile cranes, tower cranes, crash, safety, strength, fatigue, fracture, safe operation.



POSSIBILITIES OF GLUED LAMINATED TIMBER

MAKHIYANOVA A.R., MATLAKHOVA A.S. *students, (Russia)*

ALHAMAMRA ABDALLA , *student, (Palestine)*

Peoples' Friendship University of Russia

The article examines possibilities of glued laminated timber. Its properties are compared with the properties of the other construction materials. The article presents examples of the GLT using in different countries.

KEYWORDS: glued laminated timber, natural wood, strength, mechanical properties, environmental friendly material.

Reinforced concrete, steel and natural wood are the most popular construction materials in the most of countries. But in the second part of the 20th century appeared many new artificial construction materials, such as polymers, composite material and other. One of these rather young materials in glued laminated timber, and it is becoming more and more popular nowadays.

There is a question why people prefer to use glued laminated timber although it is more expensive than natural wood. This article tries to answer this question.

Glued laminated timber, also called Glulam, is a type of structural timber product comprising a number of layers of dimensioned timber bonded together with durable, moisture-resistant structural adhesives.

Glued laminated timber is an engineered timber product manufactured by gluing together smaller pieces of stress graded and seasoned timber. The laminates are typically finger-jointed into continuous lengths, and available in both softwood and hardwood species.

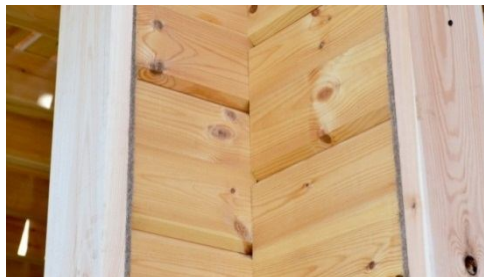


Fig.1 Glued laminated timber wall

The rather high strength and stiffness of laminated timbers enable glulam beams and arches to span large distances without intermediate columns, allowing more design flexibility than with traditional timber construction. The size, length and shape of glulam sections is limited only by manufacturing, transport and handling capabilities, and many manufacturers can produce a variety of shapes and sizes upon request.

Glulam beam can be of any length within 12 meters and let block big bays, planning the room freely. Glulam beams let to erect objects of the increased complexity configurations.

Prior to gluing, the laminates are dressed to exact and uniform thickness. They are clamped together under constant pressure until the glue has cured, and before the members are planned, cut to exact size, and sometimes coated with a water repellent sealant.

Because glulam is made up of many laminates, strength-reducing characteristics are often absent or just confined to one laminate. As a result, the product is stronger than solid timber, and its strength and performance predictions are usually very reliable. The manufacturing process also allows for larger and longer members than would otherwise be possible with traditional solid sawn timber.

Also it is known that many construction materials can cause the allergic reactions, especially among children. But wood is a natural and environmentally friendly product that does not have a negative effect on the human body. Wooden walls accumulate warm air and evenly allocate it withindoors, keeping the optimum balance of humidity. It is possible to heat such room quickly and easily in winter, and there will never be too hot in summer. Therefore glulam houses are ideal both for permanent residence and for the weekend or holiday stay. Wood is completely renewable natural resource.

In addition, glulam beams production requires 50% less energy consumption, than concrete production and 80% less than brick production, therefore air pollution is very low. Glulam house durability is higher, than the durability of a full-log house. Wood compression is a result of gluing the graded lamellas under the pressure. That's why glulam wooden construction of the house is of the correct geometry and the load bearing capacity increases.

Glulam fire resistance is 10 times higher than fire resistance of other wooden housing construction technologies and also metalwork. The metal becomes soft and starts losing the bearing properties by the inflammation. When fire starts the houses built of a gas concrete or foam concrete blocks collapse. The special fireproof impregnations applying on a wood surface turn it into a flame-resistant material



Fig.2 H.Troon "Riding arena"



Fig.3 Smith and Tracey Architects' Olinda "Tea House" in Melbourne

Below there are two examples of dwelling houses.

Built by H. Troon, the project involved the construction of an 80 meter by 40 meter indoor riding arena, which was fully constructed from structural timber. Sourced from New Zealand, the glulam timber arches have a span of 40 meters (fig. 2).

Smith and Tracey Architects' Olinda Tea House in Melbourne is another example of glulam application (fig. 3). The pavilion-style building with a floating butterfly roof was designed using post and beam glulam components from Laminated Timber Supplies. The main structural timbers included a mix of GL13 'A' grade H-3 treated pine beams, cypress posts 7.5 meters high, and glulam columns spanning over 12 meters long.

In conclusion it is possible to say that glued laminated timber is one of the most perspective and comfortable material for using. In our country we also have to develop this way for building in the future.

References

1. «Zoomorphic: New Animal Architecture». HarperCollins, 2003. -176 p.
2. Шмидт А., Дмитриев П. «Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры», 2002. – 277 с.
3. Olodo E.T., Adjovi E.C., Shambina S.L. Experimental analysis of the rupture of polyester-wood composite under dynamic loading / Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013, No.4 –М.: Изд-во РУДН. – С. 73 – 79.
4. Пейч Н.Н., Царев Б.С. «Сушка древесины» 1971.-с.222
5. <http://forum.pkfdk.ru/>
6. <http://gardenweb.ru/kleenaya-drevesina>

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.Р. МАХИЯНОВА, А.С. МАТЛАХОВА, *студенты*
АЛЬХАМАМРА АБДАЛЛА, *студент, (Палестина)*
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Одним из самых больших открытий в области древесины стало создание клееной древесины, которая представляет собой материал, обладающий рядом новых свойств и большим количеством преимуществ. Эти преимущества, делающие этот материал весьма привлекательным для строительства различных зданий, рассматриваются в статье.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: клееный брус, натуральное дерево, прочность, механические свойства, экологическая чистый материала.



ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГОРОДОВ

Е.А.МИРОНОВА, С.В. ХАЧАТРЯН, *студенты
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

В статье исследуются основные задачи и способы проектирования экологических городов. В связи с проблемой загрязнения окружающей природы, данная тема актуальна на сегодняшний день, она требует особого рассмотрения и новых решений в строительстве и архитектуре. Выявлены и обоснованы предложения по улучшению планировочной структуры города на основе изучения данной проблемы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экологический город, «зеленое» строительство, аркология, градостроительство, эко-районы, городской каркас.

С каждым годом наиболее остро встают вопросы сохранения и возобновления окружающей среды. Постоянная выработка нехарактерных химических и биологических веществ в воздух, воздействие транспортных, механических, радиоактивных загрязнений делают жизнь людей в городах небезопасной. В результате, снижаются защитные свойства организма, уровень жизни, увеличивается токсическое воздействие и воздействие ионизированного излучения. Типизированная городская застройка становится неудобной, не учитывает многих требований, связанных с постоянным увеличением числа населения и изменением экологии. Все это требует принципиально нового подхода к планировке городов, от которой зависит условия жизни человека.

Одна из важнейших задач застройки городов - создание рациональной планировочной структуры, включающей использование новых технологий, и использование энергосберегающих устройств. Задачи архитектуры и градостроительства решаются путем: 1) сокращения потребления энергии, воды, продуктов питания, неразумного выделения тепла, CO₂, загрязнение воды. 2) применения в строительстве только экологических материалов. 3) полного слияния зданий и природы, использования форм живой природы.

В основе планировочных решений лежат следующие подходы:

1) размещение возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели, ветрогенераторы, биогазовые установки.

2) сокращение автомобильных выхлопов путем зонирования города (продуманная жилая, общественная и промышленная зона), системы велосипедного движения, сквозных пешеходных зон, общественного транспорта.

3) применение многоуровневого озеленения, в том числе на самих зданиях (озелененные крыши)

4) насыщение озелененных территорий хорошо развитой инженерной инфраструктурой и речной сетью города (рис. 1, 2).

За последнее десятилетие разработаны новые технологии в достижении баланса между техничностью строения и его экологичностью; такое направление получило название аркология.

В некоторых городах численность населения доходит до предельных величин, рост городов приводит к тому, что естественная среда заменяется новыми мегаполисами. Нерациональное использование пространства, неправильное зонирование территорий плохо воздействуют на человека и окружающую среду. Аркология решает эту проблему путем возведения небоскребов, в которых предусматривается самодостаточная инфраструктура, используется энергия воздушных потоков и солнечных батарей (рис 3). Обязательное условие - сооружения должны органично вписываться в местный ландшафт. В отличие от горизонтальной планировки, в зданиях размещается значительно большее количество жителей. Поскольку большинство транспортных линий располагается в гиперструктурах, загрязнения выхлопными газами снижаются [4].

Существуют проекты мегазданий, где одновременно расположены рабочие и жилые помещения.



Рис. 1



Рис. 2

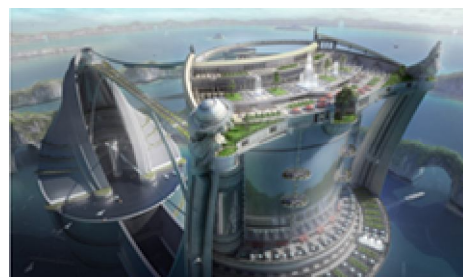


Рис. 3

Одним из интересных проектов в данном направлении, является проект X-Seed 4000. Это огромное сооружение высотой 4 километра, по своей форме X-Seed 4000 напоминает священную гору Фудзияму (рис. 4). Общая площадь проекта составляет 26 квадратных миль. X-Seed 4000 способен вместить порядка 0,5-1 млн. человек.

Архитектор Норман Фостер разработал культурно-деловой центр в г. Москва. Здание получило название «Хрустальный остров» (рис. 5). Высота здания составляет 450 м., общая площадь внутренних помещений более 2,5 млн. кв.м., что делает его самым вместительным зданием на планете. В нем разместятся кинотеатры, музеи, торговые центры, гостиницы, а также школа на пятьсот человек [3].

Помимо плюсов, у аркологических зданий есть недостаток, затрагивающий экономический фактор. Такие огромные мегаструктуры невыгодны, т.к. требуют огромных затрат.

Также предлагаются для «зеленого» строительства экспериментальные экологические районы в разных странах, которые позволят изучить реальную эффективность новых эко-технологий. Для примера рассмотрим эко-район в Германии - немецкий квартал Вобан, на территории которого практически нет личного автотранспорта, улицы адаптированы для пешеходов, нет парковочных мест, преимущественно велосипедные дорожки, трамваи. Но главные достоинства проекта относятся к сфере энергоэффективности и альтернативной энергетики. Все здания достаточно утеплены. К 2040 году район должен полностью обеспечить себя солнечной энергией и выработать ее в избытке. В зданиях используются особые системы утепления, ведется переработка «использованного» теплого воздуха, применяются солнечные батареи для получения электричества и

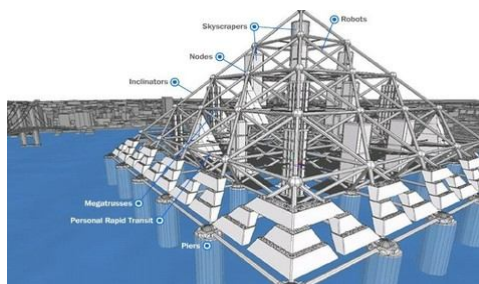


Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

солнечные коллекторы для нагревания воды (рис. 6), установлены специальные тепловые насосы, использующие энергию земных недр [2].

В России первым экопроектом станет Сколково, представляющий собой пять «городских деревень» нового типа. В техническом задании на проектирование Сколково заявлена концепция «Четыре Э»: энергоэффективность, экологичность, экономичность и эргономичность, предлагаются инновационные решения по удалению отходов. Главная цель - максимальное сокращение автомобильного транспорта. Сколково станет не только центром работы и проживания ученых и исследователей, но и экспериментальной площадкой для развития современных решений в области «зеленого» строительства.

В целом, концепция экологических городов подразделяется на две группы:

1) Градообразование в виде линейного города. Концепция выдвинута Ле Корбюзье, Сория-и-Мато, способна разорвать экологические связи, лишит природу способности развиваться без вмешательства человека.

2) Прерывная структура градообразования. Считается усовершенствованной, развита в теории децентрализации Э. Саарнена, схемах Э. Говарда, В. Кристаллера.

Сформировалось несколько обобщенных систем, решающие планировочные задачи, в них элементы города представлены как:

1) Природный каркас города - Естественная система жизнеобеспечения города, система зеленых насаждений и акваторий города, состоящая из озелененных и водных объектов, ландшафтных элементов городской территории. Должна обеспечиваться непрерывность природного каркаса в пространстве города и его связь с лесами и акваториями.

2) Техногенный каркас города выполняет функции искусственной системы жизнеобеспечения города и состоит из транспортной и инженерной инфраструктуры.

3) Городская ткань включает всю застройку города, развитие которых может происходить перманентно, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Характеризуется наличием атриумов, высокими архитектурно-планировочными показателями.

Для создания данных систем необходима развитая инфраструктура; правильное распределение элементов природных и техногенных каркасов так, чтобы не происходило их пересечение на одном уровне. Лишь при решении этих задач станет возможно сформировать непрерывный природный каркас в пространстве всего города [1].

Заключение:

Стратегия обустройства зеленых пространств заключается в усилении ландшафтных качеств за счет их очистки, использования в рекреационных целях. Расположение в окружении лесных массивов позволит создать ча-

стную зону для каждого города, поселка. Уличная сеть должна вмещать небольшие озелененные скверы внутри каждого квартала. Вдоль зеленых насаждений необходимо обустроить велосипедные и пешеходные дорожки. Разноуровневая планировка дает больше возможностей для зонирования общественной, жилой, промышленной зоны. Совсем не обязательно отказываться от автомобилей, достаточно вынести стоянки за пределы города, создавая подземные паркинги. Использование биотоплива, сократит загрязнения в атмосферу. Необходимо предусматривать современные системы общественного транспорта – скоростные легкорельсовые дороги.

Водоснабжение осуществляется благодаря накоплению дождевой воды, опреснению морской воды и очистке сточных вод, для повторного использования. Озеленение и форма зданий, позволяет максимально сблизить человека с природой. Всех перечисленных факторов достаточно, чтобы изменить принципы современного строительства. Современная архитектура неуклонно движется к изменению пространства, функций, стиля, тем самым создавая благоприятную для человека среду в гармонии с природой. Важно, чтобы все эти принципы были использованы на практике как в России, так и за рубежом.

Литература

1. Саркисов С.К. «Инновации в архитектуре». – Москва: Либроком, 2012. -342 с.
2. Энтони Хассел. «Современная архитектура». - Москва: Арт-Родник, 2010. – 128 с.
3. Филипп Ходидья . «Новейшая архитектура». - Москва: Астрель, 2008.- 192 с.
4. Паоло Солери . «Аркология: город в образе человека» - First edition, Monacelli Press 1969 .

THE BASIC PRINSIPLES OF DESIGN AND CONSTRUCTION FOR ECOLOGOCAL TOWNS

E. A. MIRONOVA, S.V. KHACHATRYAN, *students*
Peoples' Friendship University of Russia

The main tasks and methods of design for ecological towns are investigated in this article. In connection with the problem of environmental pollution this topic is relevant nowadays; it requires carefull consideration and new solution in construction and architecture. Suggestions for improving of planning structure for towns were identified and justified basing on the study of this problem.

KEYWORDS: ecological city, green building, arcology, urban planning, eco-districts, city frame.



НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИАЛЬНО НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Д.А. КАПЛИЙ

МГСУ, Ярославское ш. 26, г. Москва, Россия
daniilkapliy@yahoo.co.uk

Приведено решение задачи определения напряженно-деформированного состояния толстостенной бетонной оболочки при вертикальной нагрузке. В данной осесимметричной задаче рассматривается влияние неоднородности материала оболочки, обусловленное тепловым воздействием. Задача сводится к дифференциальному уравнению с переменными коэффициентами. Учёт переменного модуля упругости позволяет получить более точное решение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сфера, ряды Фурье, полиномы Лежандра, напряженно-деформированное состояние, неоднородность.

В большинстве используемых в настоящее время конструкций элементы имеют неизменную по всей длине геометрию сечения, а также постоянные физико-механические характеристики. Напряжения в таких конструкциях распределяются неравномерно, предельное состояние может наступать лишь в незначительных областях, ресурс материала оказывается использованным не полностью, что приводит к его перерасходу. Одним из перспективных направлений развития строительной механики является разработка методов, которые позволяют наиболее полно использовать прочностной ресурс материала. Подобные методы позволяют уменьшить деформационные характеристики материала, т.е. привести к снижению напряжений, что позволяет уменьшить толщину железобетонной оболочки, более рационально распределить арматуру по сечению, увеличить максимальные значения силовых нагрузок. В работах [1-3 и др.] разработаны методы решения задач теории упругости для тел с непрерывной неоднородностью деформационных характеристик (модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν). В настоящей работе рассматривается задача для случая, когда на шар действует вертикальная нагрузка, а неоднородность обусловлена воздействием температурного поля.

В качестве механической модели рассматривается толстостенная железобетонная оболочка (половина полого шара) (рис. 1), внутренний радиус которого равен a , а внешний – $b > a$. Парамет-

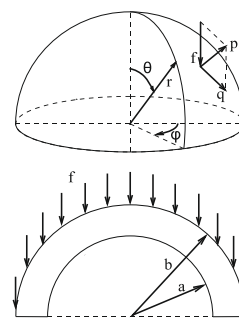


Рис. 1. Модель.

ры оболочки: $a = 3,3\text{ м}$, $b = 4,5\text{ м}$; $T_a = 500^\circ\text{С}$ – температура на внутренней поверхности шара; $T_b = 0^\circ\text{С}$ – температура на внешней поверхности шара; $f = 1\text{ МПа}$ – вертикальная нагрузка, распределённая по всей внешней поверхности (рис. 1).

В случае стационарного режима распределение температуры в массиве описывается зависимостью:

$$T(r) = \frac{1}{b-a} \left[(T_a - T_b) \frac{ab}{r} + T_b b - T_a a \right]. \quad (1)$$

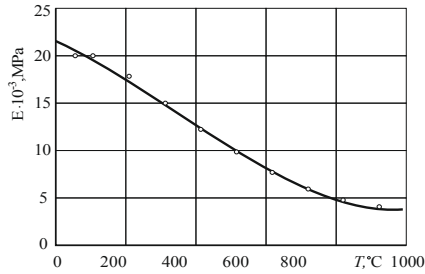


Fig. 2. Экспериментальные данные (°) зависимости модуля Юнга от температуры бетона и график аппроксимирующей функции $E(T)$.

Вынужденные температурные деформации при постоянном коэффициенте линейного температурного расширения равны: $\varepsilon_s = \alpha_T T(r)$. В расчетах было принято $\alpha_T = 0,1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{С}}$

Зависимость модуля упругости от температуры [3] можно аппроксимировать с помощью полинома (рис. 2):

$$E(T(r)) = E_0 \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i T(r)^i.$$

Уравнения равновесия в перемещениях, соответствующие осесимметричной задаче без кручения:

$$\mu \nabla^2 u + 3(\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_\varphi}{\partial r} - \frac{2\mu}{r^2} \left(u + \frac{\partial v}{\partial \theta} + v \operatorname{ctg} \theta \right) + 3 \frac{\partial \lambda}{\partial r} \varepsilon_\varphi + 2 \frac{\partial \mu}{\partial r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) - 3 \frac{\partial}{\partial r} (K \varepsilon_s) + R = 0 \quad (2)$$

$$\mu \nabla^2 v + \frac{3(\lambda + \mu)}{r} \frac{\partial \varepsilon_\varphi}{\partial \theta} + \frac{\mu}{r^2} \left(2 \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{\sin^2 \theta} \right) + \frac{3}{r} \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \varepsilon_\varphi + \frac{\partial \mu}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) + \frac{2}{r^2} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \left(u + \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) - \frac{3}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (K \varepsilon_s) + \Theta = 0 \quad (3)$$

$$\text{где } \nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right); \quad 3\varepsilon_\varphi = \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{2u}{r} + \frac{v}{r} \operatorname{ctg} \theta.$$

В данной задаче модуль Юнга является функцией только одной координаты – радиуса. В осесимметричной задаче в сферических координатах при радиальной неоднородности и зависимости ε_s только от радиуса уравнения (2), (3) упрощаются и принимают вид:

$$\mu \nabla^2 u + 3(\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_{\varphi}}{\partial r} - \frac{2\mu}{r^2} \left(u + \frac{\partial v}{\partial \theta} + v \cot \theta \right) + 3 \frac{\partial \lambda}{\partial r} \varepsilon_{\varphi} + 2 \frac{\partial \mu}{\partial r} \frac{\partial u}{\partial r} - 3 \frac{\partial}{\partial r} (K \varepsilon_e) + R = 0, \quad (4)$$

$$\mu \nabla^2 v + \frac{3(\lambda + \mu)}{r} \frac{\partial \varepsilon_{\varphi}}{\partial \theta} + \frac{\mu}{r^2} \left(2 \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{\sin^2 \theta} \right) + \frac{\partial \mu}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) + \Theta = 0, \quad (5)$$

Граничные условия в напряжениях для осесимметричной задачи можно записать следующим образом:

$$r = a, \quad \sigma_r = -p_a, \quad \tau_{r\theta} = -q_a; \quad r = b, \quad \sigma_r = -p_b, \quad \tau_{r\theta} = q_b. \quad (6)$$

Запишем выражения для напряжений через перемещения:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{2u}{r} + \frac{v}{r} \operatorname{ctg} \theta \right) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial r} - 3K \varepsilon_e, \\ \sigma_{\theta} &= \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{2u}{r} + \frac{v}{r} \operatorname{ctg} \theta \right) + 2\mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \right) - 3K \varepsilon_e, \\ \sigma_{\varphi} &= \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{2u}{r} + \frac{v}{r} \operatorname{ctg} \theta \right) + 2\mu \left(\frac{u}{r} + \frac{v}{r} \cot \theta \right) - 3K \varepsilon_e, \\ \tau_{r\theta} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Будем искать решение уравнений (4), (5) в виде разложений в ряды Фурье по полиномам Лежандра [4].

$$u(r, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(r) P_n(\cos \theta), \quad v(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(r) \frac{dP_n(\cos \theta)}{d\theta}. \quad (8)$$

Также следует представить поверхностные нагрузки в виде рядов:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} p_a \\ p_b \end{pmatrix} &= \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_{a,n} \\ p_{b,n} \end{pmatrix} P_n(\cos \theta) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot P_0(\cos \theta) + \begin{pmatrix} 0 \\ f \end{pmatrix} \cdot P_1(\cos \theta); \\ \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix} &= \sum_{n=1}^{\infty} \begin{pmatrix} q_{a,n} \\ q_{b,n} \end{pmatrix} \frac{dP_n(\cos \theta)}{d\theta} = \begin{pmatrix} 0 \\ -f \end{pmatrix} \frac{dP_1(\cos \theta)}{d\theta}; \end{aligned} \quad (9)$$

где $P_0(\cos \theta) = 1$, $P_1(\cos \theta) = \cos \theta$.

На основе анализа разложений поверхностных нагрузок в ряды Фурье производится выбор количества членов рядов Фурье, т.е. в нашем случае достаточно всего двух членов. Подставив выражение (8) в (4) и (5), получим дифференциальное уравнение второго порядка для u_0 :

$$(\lambda + 2\mu) u_0'' + \left[\frac{2(\lambda + 2\mu)}{r} + (\lambda + 2\mu)' \right] \cdot u_0' - \left[\frac{2(\lambda + 2\mu)}{r^2} + \frac{2\lambda'}{r} \right] \cdot u_0 - 3(K \varepsilon_e)' = 0; \quad (10)$$

также получаем два дифференциальных уравнения второго порядка для u_1, v_1 :

$$\begin{cases} (\lambda + 2\mu)u_1'' + \left[\frac{2(\lambda + 2\mu)}{r} + (\lambda + 2\mu)' \right] \cdot u_1' - \frac{2\lambda'}{r} \cdot u_1 - \\ - \frac{2\mu + 2(\lambda + 2\mu)}{r^2} \cdot u_1 - 2 \frac{\lambda + \mu}{r} \cdot v_1' + 2 \left[\frac{\lambda + 3\mu}{r^2} - \frac{\lambda'}{r} \right] \cdot v_1 = 0; \\ \mu v_1'' + \left[\frac{2\mu}{r} + \mu' \right] \cdot v_1' - \left[2 \frac{\lambda + 2\mu}{r^2} + \frac{\mu'}{r} \right] \cdot v_1 + \frac{\lambda + \mu}{r} \cdot u_1' + 2 \left[\frac{\lambda + 2\mu}{r^2} - \frac{\mu'}{r} \right] \cdot u_1 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Используя (7) получим граничные условия искомым функций из (6):

$$\begin{cases} (\lambda(a) + 2\mu(a))u_0'(a) + \frac{2\lambda(a)}{a}u_0(a) - 3K(a)\varepsilon_s(a) = 0; \\ (\lambda(b) + 2\mu(b))u_0'(b) + \frac{2\lambda(b)}{b}u_0(b) - 3K(b)\varepsilon_s(b) = 0. \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} (\lambda(a) + 2\mu(a))u_1'(a) + \frac{2\lambda(a)}{a}u_1(a) - \frac{2\lambda(a)}{a}v_1(a) = 0; \\ (\lambda(b) + 2\mu(b))u_1'(b) + \frac{2\lambda(b)}{b}u_1(b) - \frac{2\lambda(b)}{b}v_1(b) = f; \\ \mu(a) \left[v_1'(a) - \frac{v_1(a)}{a} + \frac{u_1(a)}{a} \right] = 0; \\ \mu(b) \left[v_1'(b) - \frac{v_1(b)}{b} + \frac{u_1(b)}{b} \right] = -f. \end{cases} \quad (13)$$

Решив краевую задачу с уравнениями (10), (11) и граничными условиями (12), (13) в компьютерном комплексе Maple, получаем перемещения, которые подставляем в выражения (7).

На рис. 3-6 показаны эпюры радиальных и окружных напряжений, где пунктирная линия показывает напряжения для однородного материала.

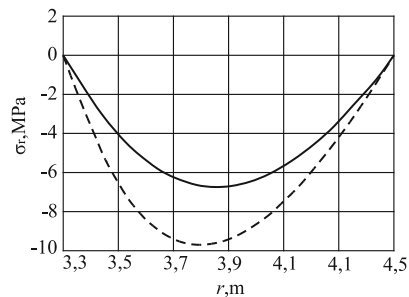
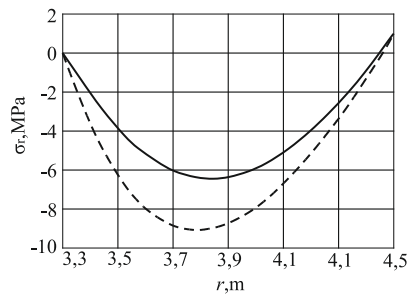


Fig. 3. Эпюры радиальных напряжений при $\theta = 0$.

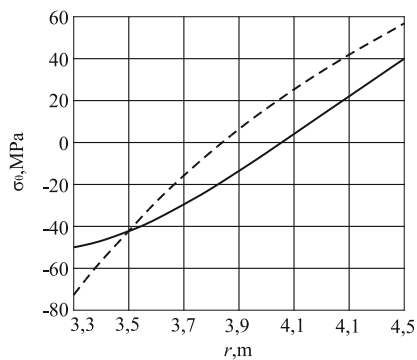


Fig. 5. Эпюры окружных напряжений при $\theta = 0$.

Как можем заметить, эпюры для $\theta = 0$ и эпюры для $\theta = \pi/2$ очень похожи. Так получается из-за малого влияния поверхностной нагрузки на напряженное состояние (рис. 7).

Максимальные сжимающие напряжения σ_r при учете неоднородности материала уменьшаются на 30% по сравнению со случаем, когда не учитывается неоднородность материала. Но это не столь существенно по сравнению с уменьшением в 1.5 раза растягивающих напряжений σ_θ на внешней поверхности полусферы т.к. у бетонов в целом прочность на растяжение существенно меньше, чем на сжатие.

Заключение:

Очевидно, что расчеты подобных задач следует проводить с учётом неоднородности материала [5, 6]. Зачастую искусственный выбор неоднородности материала позволяет на основе обратных задач механики неоднородных тел решать задачи оптимизации конструкций по прочности [7,8 и др.]

Fig. 4. Эпюры радиальных напряжений при $\theta = \pi/2$.

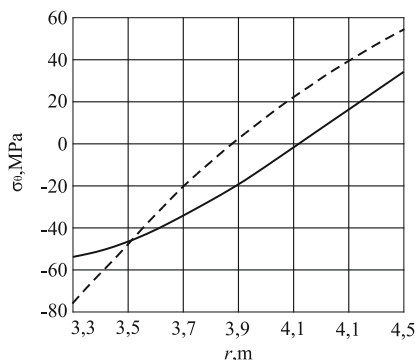


Fig. 6. Эпюры окружных напряжений при $\theta = \pi/2$.

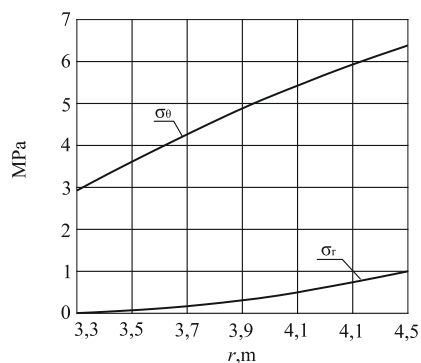


Fig. 7. Эпюры радиальных и окружных напряжений при $\theta = 0$ и при отсутствии температурного поля.

Литература

1. Андреев В.И. Некоторые задачи и методы механики неоднородных тел. Изд-во АСВ, Москва 2002. – 286 с.
2. Andreev V.I., Dubrovskiy I.A. Stress state of the hemispherical shell at front movement radiating field. Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, Vols. 405-408 (2013) pp 1073-1076
3. Андреев В.И., Минаева А.С. Моделирование равнонапряженного ци-линдра, подверженного силовым и температурным нагрузкам. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volume 7, Issue 1, 2011. с. 71-75
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука, 1986. - 544 с.
5. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional problem of moisture elasticity of inhomogeneous spherical array with cavity. Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, Vols.580-583, 2014. pp 812-815
6. Андреев В.И., Каплий Д.А. Стационарная задача о влиянии радиационного и температурного поля на неоднородный толстостенный цилиндр. Научно-техн. вестник Поволжья. №3, 2014, с. 10-13
7. Andreev V.I. About one way of optimization of the thick-walled shells. Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, Vols.166-169, 2012, pp 354-358
8. Андреев В.И., Барменкова Е.В., Матвеева А.В. Обратная задача для неоднородной упругой балки при сложном сопротивлении. Вестник МГСУ, 2014. №1, с. 25-32

STRESS STATE OF A RADIAL INHOMOGENEOUS HEMISPHERICAL SHELL UNDER THE VERTICAL UNI- FORM LOAD

DANIIL A. KAPLIY

*Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl highway, 26, Moscow,
129337, Russia*

There is a solution of the problem of stress-strain state determining in the radially inhomogeneous concrete hemispherical shell . The inhomogeneity is induced by the temperature field. The problem reduces to a differential equation system with variable coefficients. The allowance for the variable Young's module lets to arrive to a more accurate solution.

KEYWORDS: sphere, Fourier series, Legendre polynomial, stress-strain state, inhomogeneity.



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АРМИРОВАНИИ

С.С. НАПИРАЛЬСКИЙ, студент

К.С. АКИФЬЕВА, студент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье рассматривается современная технология армирования с применением базальтопластика. Даются основные преимущества и области ее применения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: армирование, базальтопластик.

Когда люди думают об армировании у них всегда возникает образ тяжёлого прочного металлического стержня, но в современном мире строительства появляются новые более экономичные и более лёгкие композитные материалы, такие как **базальтопластик**, который рассматривается в этой работе.



Рис.1

Высокопрочная **базальтопластиковая арматура** (Рис. 1) - это новый армирующий элемент при строительных работах, где применяется бетон. Она представляет собой неметаллические стержни из стекловолокна с различным диаметром, которые имеют ребристую поверхность периодического профиля. Также эти стержни пропитаны очень прочным полимерным составом.

Данная арматура специально разработана для использования в бетонных конструкциях с преднапряженным и ненапряженным армированием [1]. Главная цель ее создания - заменить обычную металлическую арматуру.

Так же для предотвращения коррозии в щелочной среде применяют песчаное напыление и утолщение на концах, которое обеспечивает адгезию с бетоном.

Базальтовая арматура (Рис. 2) имеет множество преимуществ по сравнению с традиционной стальной. Например, у нее очень высокий показатель прочности на растяжение. Это делает ее очень перспективным строительным материалом. Соотнося данную арматуру с металлической, можно увидеть что базальтовая арматура не подвергается коррозии, обладает электроизоляционными свойствами, не теплопроводна, устойчива к воздействию кислот и других агрессивных сред, не гниет и обладает очень долгим сроком службы. Также арматура из стекловолокна намного дешевле армирующих металлических элементов. Возводя некоторые бетонные конструкции, используя при этом стекловолокно, можно сэкономить до 45% стоимости арматуры.



Рис.2

Базальтопластиковая арматура имеет легкий вес. Это означает, что для ее транспортировки потребуется меньше финансовых средств. Помимо этого, уменьшается общая масса всего здания, что позволяет экономить на заливке фундамента. **Базальтовая арматура** широко используется в строительстве разнообразных объектов. При монтаже данной арматуры используются обыкновенные пластиковые хомуты либо вязальная проволока, а разрезать их можно обычной "болгаркой". При этом технология бетонирования ничем не отличается от той, где используется

металлическая арматура. Помимо этого, рассматриваемую арматуру используют для возведения многослойных кирпичных стен, где применяется схема кирпич-утеплитель-кирпич или кирпич-утеплитель-блоки (Рис. 3).

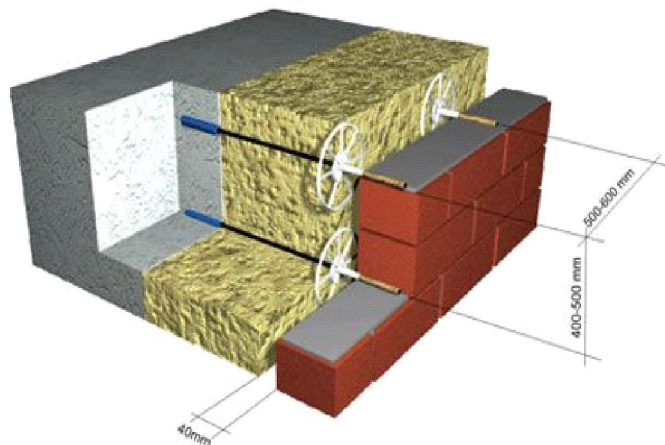


Рис.3 [2]

Основные преимущества базальтовой арматуры:

- При испытании на прочность показатели в 3 раза превосходят характеристики металлической (стальной) арматуры. У базальто-пластика результат испытаний составляет 1000 и более МПа, у металлической этот показатель составляет 390 МПа [1];

- Не восприимчива к различным агрессивным средам и кислотам;
- Не подвержена коррозии, не ржавеет и не разрушается в течение длительного времени;
- Базальтовая арматура более упругая, чем металлические аналоги;
- Не теплопроводна;
- Является диэлектриком, не проводит электрический ток;
- Не подвергается воздействиям электромагнитных полей, магнитоинертна и радиопрозрачна.
- Не теряет своих свойств даже при очень низких температурах.
- Легче стальной в 9 раз.

Все достоинства базальто-пластика повышают энергоэффективность зданий на 30%.

Область применения базальтопластиковой арматуры

Данная арматура используется в соответствии с требованиями, которые предъявляются к проектной документации для конструкций различного назначения.

- Используется, в гражданском, промышленном, а также в дорожном строительстве.
- Используется в качестве армирующих стержней и сеток в различных конструкциях.
- Применяется в конструкциях из бетона и зданиях различного назначения.
- Применяется как в тяжелых, так и легких бетонах (плитах перекрытий, пенобетоне, в монолитных фундаментах).
- Базальтопластиковая арматура – идеальный армирующий материал при возведении зданий, построенных способом несъемной опалубки.
- Можно использовать пластиковые стержни в качестве дюбелей для монтажа наружной теплоизоляции несущих стен домов [3].
- Незаменима при слоистой кладке зданий, строящихся из кирпича.
- Широко используется при укреплении берегов водоемов.
- Открывает большие перспективы при возведении сейсмоустойчивых поясов строящихся домов, причем данный вид работ можно производить как на строящихся, так и на уже эксплуатируемых объектах. Прекрасно подходит для устройства гибких связей трехслойных зданий из кирпича и для объектов промышленного и сельскохозяйственного назначения, где имеется облицовочный или несущий слой.
- **Базальтопластиковая арматура** используется при строительстве объектов канализации, водоотведения и мелиорации, а также при возведении припортовых и морских объектов.

Литература

1. <http://of-stroy.ru/stroy-materialy/43-armatura-tehnicheskie-harakteristiki.html>
2. armaplus.ru
3. galen.su

NEW TECHNOLOGIES IN THE REINFORCEMENT

S.S. NAPIRALSKI, *student*
 K.S. AKIFYEVA, *student*
Peoples' Friendship university of Russia

This article is about a modern technology of reinforcement with basalt – plastic. There are some main advantages and fields of usage.

KEYWORDS: reinforcement, basalt plastic.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КЛЕЁНОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОГЛАСНО РОССИЙСКИМ НОРМАМ И ЕВРОКОДУ

А.А. ШАМРЕЕВА, студент
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
shamreeva_anna@mail.ru

Рассматриваются методы расчёта надёжности конструкций из клеёной древесины согласно Еврокоду (на основе норм, принятых в Германии) и проводится сравнительный анализ с Российскими нормами. В качестве примера разобрана задача на устойчивость центрально сжатой стойки из клеёной древесины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: расчёт на надёжность, клеёная древесина, Еврокод, СНиП

Древесина – уникальный природный материал, активно используемый в строительстве зданий и сооружений. Деревянные конструкции применялись человеком с первобытных времён и, пройдя долгий путь исторического развития, не потеряли своей актуальности и по сей день. Можно сказать, что древесина как экологически чистый природный материал переживает своё второе рождение. Несмотря на недостаток данного ресурса, постоянно растёт спрос на деревянные здания и сооружения, разрабатываются новые технологии обработки древесины и методы расчёта деревянных конструкций.

Рассмотрим некоторые методы расчёта клеёных деревянных конструкций как наиболее популярных в нынешнем деревянном строительстве, в частности, в Германии, которая является одной из передовых стран Европы, широко применяющей древесину в строительстве и постоянно ведущей поиски оптимальных решений задач устойчивости и надёжности деревянных конструкций.

Одной из важных особенностей расчёта по Еврокоду является наличие большого количества коэффициентов в задачах на прочность, устойчивость и надёжность. Необходимо также отметить, что помимо правил, прописанных в Еврокоде (Eurocode 5), существуют практически во всех странах так называемые Национальные нормы (в Германии – Nationaler Anhang), которые устанавливают дополнительные коэффициенты перерасчёта, подходящие под национальные стандарты. Обновление норм, а соответственно, добавление новых коэффициентов, происходит раз в год, что приводит к ежегодному переизданию свода норм для расчёта конструкций.

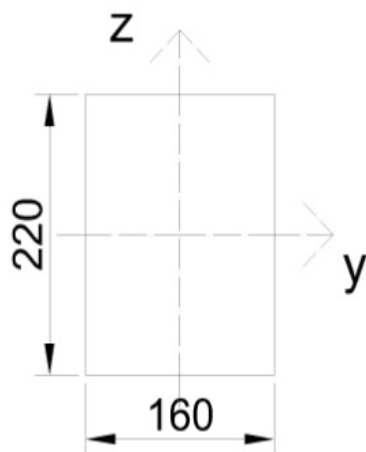


Рис. 1. Поперечное сечение стойки из клеёной древесины

где $\sigma_{c,o,d}$ – напряжение, вызываемое продольной сжимающей силой.

Рассмотрим задачу на определение устойчивости центрально сжатой стойки из клеёной древесины разных пород сечением 160x220 мм (GL28h – однородная клеёная древесина, GL28c – клеёная древесина, изготовленная из разных пород древесины), длиной $l = 4,5$ м, с шарнирным опиранием краёв: $l_{ef} = 4,5$ м. Стойка нагружена силой в $N_d = 230$ кН.

Для определения устойчивости относительно оси Y: $\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \times f_{c,o,d}} \leq 1$,

Для определения устойчивости относительно оси Z: $\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \times f_{c,o,d}} \leq 1$;

где $\sigma_{c,o,d}$ – напряжение, вызываемое продольной сжимающей силой.

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A_d} = \frac{230}{16 \times 22} = 0,653 \text{ кН}$$

Индекс „d“ указывает на расчётную величину, нормативную величину обозначает индекс „k“ (аналог в Российских нормах – расчётные и нормативные нагрузки, однако в данном случае эти понятия применяются не только к нагрузкам, но и другим величинам).

$$f_{c,o,d} = f_{c,o,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 24 \times \frac{0,9}{1,3} = 16,61 \text{ Н/мм}^2$$

где $f_{c,o,k} = 24 \text{ Н/мм}^2$ – величина предела прочности на сжатие, принятая по таблице для GL28c (по условию задачи).

k_{mod} – коэффициент, включающий в себя сочетание условия использования древесины и продолжительности приложения нагрузки и определяющийся следующими параметрами:

1) класс использования древесины (NKL = Nutzungsklasse): бывает NKL1 (закрытые пространства, внутренние помещения, жилые помещения, влажность менее 12% и др.) и NKL2 (проветриваемое или открытое помещение, влажность более 12 %);

2) характер приложения нагрузки KLED: mittel – средний – непродолжительные воздействия (дорожное движение), снежный покров более 1000 мм, нагрузка категории В, офисные помещения и др.; kurz – быстрый - непродолжительные воздействия (ветер), снежный покров менее 1000 мм и др.; также ständig и sehr kurz.

В данной задаче принимается NKL1 и KLED «kurz» - открытое помещение с крышей и снеговая нагрузка менее 1000 мм - $k_{mod} = 0,9$.

γ_m – коэффициент, учитывающий строительный материал: для любых видов дерева и в соединении с металлическими элементами 1,3, для проверки несущей способности для древесины с гвоздями – 1,25.

Гибкость относительно осей Y и Z определяется аналогично российским расчётам по формулам (рис.1):

$$\lambda_y = l_{ef}/i_y \quad \text{и} \quad \lambda_z = l_{ef}/i_z$$

$$i_y = \sqrt{\frac{h^2}{12}} = \frac{16}{\sqrt{12}} = 4,62 \text{ см} \quad \text{и} \quad i_z = \frac{22}{\sqrt{12}} = 6,35 \text{ см}$$

$$\lambda_y = \frac{450}{4,62} = 97,4 \quad \text{соответственно из таблицы } k_c = 0,413,$$

$$\lambda_z = \frac{450}{6,35} = 70,87 \quad \text{соответственно из таблицы } k_c = 0,6973;$$

k_c – коэффициент продольного изгиба элемента (аналог российского φ), всегда меньше 1, зависит от вида древесины.

Проверка устойчивости по вышеприведённым формулам:

относительно оси Y: $\frac{0,653}{0,6973 \times 1,661} = 0,564 \leq 1$ - тождество верно;

относительно оси Z: $\frac{0,653}{0,413 \times 1,661} = 0,95 \leq 1$ - тождество верно.

В российских нормах используется формула:

$$\frac{N}{A} = \sigma \leq \varphi_{adm} \quad \text{или} \quad \frac{\sigma}{\varphi_{adm}} \leq 1.$$

Следовательно, при данной нагрузке и заданных геометрических размерах балки выполняется условие устойчивости.

Как видно из хода решения задачи, в расчёте при помощи коэффициентов учитываются следующие факторы:

- 1) состав клеёной древесины - $f_{c,o,k}$;

- 2) условия использования древесины: климатические условия, проветриваемость помещений - NKL;
- 3) характер действия и продолжительность нагрузки - KLED;
- 4) материал (дерево или дерево и металл) - γ_m ;
- 5) вид древесины (лиственные или хвойные породы, клеёная однородная или неоднородная).

Литература

- [1] Prof. Dr.-Ing. H.Hartmann «Ingenieurholzbau». (Grundlagen) – Hochschule für Technik – Sem. BB4
- [2] DIN EN 1995-1-1:12-2010
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:08-2013
- [4] DIN EN 1052-10-2011-08
- [5] DIN 1052, 12-2008
- [6] DIN 1052 Berichtigung 1, Ausg. Mai 2010
- [7] DIN EN 14080:09-2013
- [8] DIN EN 338:02-2010
- [9] Eurocode 5: Design of timber structures
- [10] СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции»
- [11] Карлсен Г.Г., Слишкоухов Ю.В. (ред.) Конструкции из дерева и пластмасс - Изд. 5-е перераб. и доп. Учебник для вузов. Стройиздат, 1986г. - 543с., ил.

DIE VERGLEICHSANALYSE VON DEN BERECHUNGSMETHODEN DER STABILITÄT VOM BRETTSCHICHTHOLZ MIT HILFE DER RUSSISCHEN NORMEN UND EUROCODE

A.A. SHAMREEVA

Russische Universität der Völkerfreundschaft

Die Berechnungsmethode der Stabilität vom Brettschichtholz mit der Hilfe der russischen Normen und Eurocode (Deutschlands Nationaler Anhang) sind im Artikle betrachtet. Als Beispiel ist die Stabilitätsberechnung von der zentriert belasteten Stütze aus dem Brettschichtholz genommen wird.

SCHLUSSWÖRTER: Stabilitätsnachweis, Brettschichtholz, Eurocode, SNIP.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АФФИННЫХ ИНВАРИАНТНЫХ МОМЕНТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦИФР

Е.И. СУХАРЬКОВА,
УГАЖДТ, г. Харьков, Украина
lena_sukharkova@mail.ru

Разработан способ составления последовательности аффинных инвариантных моментов для распознавания изображений цифр на плоскости, и предназначенных для их идентификации на железнодорожных подвижных средствах транспортировки грузов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА - распознавание изображений цифр, центральные моменты, аффинные инвариантные моменты.

В сфере железнодорожного транспорта проблема учета вагонов и груза еще кое-где на местах решается путем ручного переписывания номеров вагонов. Но на больших предприятиях, где необходимо регистрировать тысячи вагонов, цистерн и контейнеров, указанные проблемы невозможно решить без компьютерных систем автоматического распознавания номерных знаков (цифр и символов), нанесенных на упомянутые транспортные средства. Для достижения эффективной работы систем распознавания нужно учитывать реальности, согласно которым необходимо сначала определить местоположение цифры, условия освещенности и изменения погоды. Также система должна учитывать грязь на цифрах и нежелательных «чужих» логотипов, которые случайно были нанесены возле цифры. Все это указывает на актуальность исследований, направленных на составление алгоритма распознавания цифр с учетом реальных факторов.

Существует большое количество готовых систем распознавания надписей на грузовых вагонах и цистернах [1,2]. Однако, опыт их эксплуатации показывает, что наибольшие проблемы вызывает блок анализа изображения цифры, обезображенной нанесенными дополнительными надписями и грязью. Кроме того, готовые системы дорогие и «закрытые» для редактирования программ посторонними лицами. Причина возникающих проблем заключается преимущественно в закрытости математического обеспечения алгоритмов.

В частности, как основу для характеристик контуров цифр часто используют центральные моменты, которые имеют определенные недостатки. Для этого целесообразнее было бы использовать аффинные инвариантные моменты [4, 5]. Поэтому возникает проблема программной реализации аффинных инвариантных моментов.

В статьях [6, 7] разработана программа, которая позволила с помощью последовательности аффинных инвариантных моментов идентифицировать цифру с возможными искажениями ее изображения.

Стандартное выражение для вычисления моментов:

$$m_{pq} = \int \int_{-\infty-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Центральные моменты вычисляются за формулой:

$$\mu_{pq} = \int \int_{-\infty-\infty}^{+\infty} (x - x_i)^p (y - y_i)^q f(x, y) dx dy, \quad (2)$$

где $x_i = m_{10}/m_{00}$, $y_i = m_{01}/m_{00}$, определяют координаты центра тяжести фигуры, $p, q = 0, 1, 2, \dots$

Обычно используют нормирование центральных моментов:

$$v_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{00}^{(p+q+2)/2}. \quad (3)$$

На практике применяют комбинации центральных моментов. Наиболее распространенной является система инвариантных моментов, предложенная японским ученым Ming-Kuei Hu [3]. С помощью центральных моментов Минг Ху разработал систему моментов, инвариантных относительно сдвигов, масштабирования и вращения.

В работе [6] на мнемоническом уровне предоставлено объяснение идеи построения другой группы моментов - аффинных инвариантных, которые базируются на геометрии треугольника, «жесткая» форма которого обеспечивает геометрическую инвариантность относительно всех аффинных преобразований. Начальные аффинные инвариантные моменты рассматривались в работах Flusser J. и Suk T. [4, 5].

Постановка задачи. Разработать способ составления последовательности аффинных инвариантных моментов для распознавания изображений цифр на плоскости, и предназначенных для их идентификации на железнодорожных подвижных средствах.

На основе результатов работ [6, 7] и используя аналитические возможности среды Maple, получены «раскрытые» выражения для вычисления аффинных моментов $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$ и I_8 :

$$\begin{aligned} I_1 &= (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) / \mu_{00}^4; \\ I_2 &= (-\mu_{30}^2\mu_{03}^2 + 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} - 4\mu_{30}\mu_{12}^3 - 4\mu_{21}^3\mu_{03} + 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) / \mu_{00}^{10}; \\ I_3 &= (\mu_{20}\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{20}\mu_{12}^2 - \mu_{11}\mu_{30}\mu_{03} + \mu_{11}\mu_{21}\mu_{12} + \mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{02}\mu_{21}^2) / \mu_{00}^7; \\ I_4 &= (-\mu_{20}^3\mu_{03}^2 + 6\mu_{20}^2\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 3\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{12}^2 - 6\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{21}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{12}^2) / \mu_{00}^{11}; \\ &+ 12\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} - 3\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 + 2\mu_{11}^3\mu_{30}\mu_{03} + 6\mu_{11}^3\mu_{21}\mu_{12} \\ &- 6\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{21}^2 + 6\mu_{11}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{21} - \mu_{02}^3\mu_{30}^2) / \mu_{00}^{11}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$I_5 = \sqrt{-4I_1^3 I_2^2 + 12I_1^2 I_2 I_3^2 - 12I_1 I_3^4 - I_2 I_4^2 + 4I_3^3 I_4} ;$$

$$I_6 = (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2) / \mu_{00}^6 ;$$

$$I_7 = (\mu_{40}\mu_{22}\mu_{04} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{31}^2\mu_{04} + 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{22}^3) / \mu_{00}^9 ;$$

$$I_8 = (\mu_{20}^2\mu_{04} - 4\mu_{20}\mu_{11}\mu_{13} + 2\mu_{20}\mu_{02}\mu_{22} + 4\mu_{11}^2\mu_{22} - 4\mu_{11}\mu_{02}\mu_{31} + \mu_{02}^2\mu_{40}) / \mu_{00}^7 .$$

Для объяснения инвариантных свойств (4) в качестве примера выберем цифру «семь» (рис. 1), описанную с помощью R- функций:

R- конъюнкции $\mathbf{p} := (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \rightarrow (\mathbf{a} + \mathbf{b} - \mathbf{abs}(\mathbf{a} - \mathbf{b})) / 2 :$

и R- дизъюнкции $\mathbf{o} := (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \rightarrow (\mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{abs}(\mathbf{a} - \mathbf{b})) / 2 :$

в виде процедуры-функции [8, 9]:

```
F7 := (x, y) -> p(p(p(p(2.5 - (y-B), 2*0.7-2*(x-A)+  
(y-B)*0.7), o(-1.5 + (y-B), -2*0.7 + 2*(x-A)+1) -  
(y-B)*0.7)), (x-A)+1.5), (y-B)+2.5).
```

Здесь через A и B обозначены координаты возможного сдвига изображения цифры вдоль координатных осей. На рис. 2 тестовое изображение цифры переведено в растровое изображение для определения координат узлов интегрирования. При этом при $F7(x,y) \geq 0$ значение функции в узлах равняется единице, а в других точках - нулю. На рис. 3 приведено растровое изображение, повернутое на $-0,5$ радиан относительно точки $(0; 0)$.

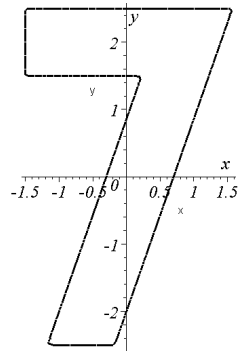


Рис. 1. Тестовое изображение

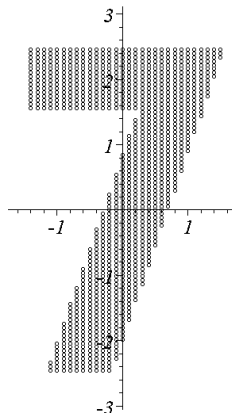


Рис. 2. Растровое изображение

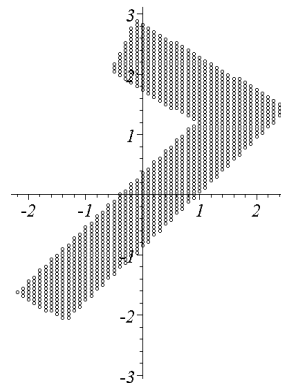


Рис. 3. Повернутое изображение

В таблице 1 приведены полученные значения аффинных инвариантных моментов в зависимости от угла поворота растрового изображения. Близость значений «по горизонтали» аффинных инвариантных моментов дает основания считать, что они определяют симметрию вращения цифры «семь».

Таблица 1
Значение аффинных инвариантных моментов

Поворот на 0 радиан	Поворот на -0,25 радиан	Поворот на -0,5 радиан
I1:=0,02037569495	I1:=0,02050657128	I1:=0,02072605759
I2:=0,1887250221· 10 ⁻⁵	I2:=0,2090570323· 10 ⁻⁵	I2:=0,2055200432· 10 ⁻⁵
I3:=0,0002527096171	I3:=0,0002636149099	I3:=0,0002657694183
I4:=0,00001296994045	I4:=0,00004051362290	I4:=0,0001597925667
I5:=0,1590936894· 10 ⁻⁸	I5:=0,3269019933· 10 ⁻⁷	I5:=0,2027834698· 10 ⁻⁶
I6:=0,003385413840	I6:=0,003389068239	I6:=0,003461536179
I7:=0,00002788349740	I7:=0,00002847235908	I7:=0,00002900066775
I8:=0,002712654982	I8:=0,002726205001	I8:=0,002783272700

Для сравнения моментов опишем цифры «восемь» и «три»

```
F8 := (x,y) -> p((1 - ((x-A)/1.2)² -
  ((abs(y-B) - 1.25)/1.5)²),
  (((x-A)/0.7)² + ((abs(y-B) - 1.25)/1)² - 1));
```

```
F3 := (x,y) -> p(p((1 - ((x-A)/1.2)² - ((abs((y-B)) -
  1.25)/1.5)²), ((x-A)/0.7)² + ((abs((y-B)) -
  1.25)/1)² - 1)), (((x-A) + 1.)/1.2)² +
  ((abs((y-B)) - 0.6)/0.5)² - 1));
```

В таблице 2 приведены значения моментов для повернутых на угол - 0,25 цифр «семь», «восемь» и «три».

Таблица 2
Значение аффинных инвариантных моментов для цифр «семь», «восемь» и «три»

Цифра «семь»	Цифра «восемь»	Цифра «три»
I1:=0,02050657128	I1:=0,03233686130	I1:=0,05006006817
I2:=0,2090570323· 10 ⁻⁵	I2:=0	I2:=0,1028961700· 10 ⁻⁵
I3:=0,0002636149099	I3:=0	I3:=0,00007553599472
I4:=0,00004051362290	I4:=0	I4:=0,00007662700580
I5:=0,3269019933· 10 ⁻⁷	I5:=0	I5:=0,7198786686· 10 ⁻⁷
I6:=0,003389068239	I6:=0,004858480398	I6:=0,01270976177
I7:=0,00002847235908	I7:=0,00005561391212	I7:=0,0002144380970
I8:=0,002726205001	I8:=0,005137765753	I8:=0,01270339330

Заключення: Розроблений спосіб складання послідовності афінних інваріантних моментів дозволяє формалізувати процес ідентифікації і розпізнавання цифр на площині.

Література

1. Система розпізнавання номерів вагонів. Версія 1.4.0. [Електронний ресурс] Режим доступу <http://www.intlab.ru/onenew.php?newid=14>
2. Грузові вагони і нумерація грузових вагонів. [Електронний ресурс] Режим доступу <http://www.rzd.me/inform-block/numbers-vagon-carg/>
3. *Hu M.* Visual pattern recognition by moment invariants / M. Hu // IRE Trans. Information Theory. – 1962. – Vol. IT-8. – P. 179-187.
4. *Suk T.* Graph method for generating affine moment invariants,” in ICPR 2004 / T. Suk, J. Flusser // 17th International Conference on Pattern Recognition, IEEE Computer Society, 2004, pp. 192–195.
5. *Flusser J.* Construction of complete and independent systems of rotation moment invariants, in CAIP 2003 / J. Flusser, T. Suk // , Computer Analysis of Images and Patterns, Springer, 2003, pp. 41–48.
6. *Морозова Г.В.* Спосіб ідентифікації цифр за допомогою низки афінних інваріантних моментів / Г.В.Морозова, О.І.Сухарькова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 4. – Т. 57. - С. 150-155
7. *Сухарькова О.І.* Розпізнавання двохзначних цифр за допомогою афінних інваріантних моментів їх зображень / О.І.Сухарькова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 91. – Київ: КНУБА, 2013 р. С. 265 – 270.
8. *Сухарькова О.І.* Розпізнавання цифр за допомогою афінних інваріантних моментів їх зображень / О.І.Сухарькова // Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету. Серія: Математика, геометрія, інформатика. – Том 1. – Мелітополь: МДПУ, 2014 р. С. 209 – 216.
9. *Сухарькова О.І.* Використання афінних інваріантних моментів для розпізнавання зображень цифр / О.І.Сухарькова // Информационные технологии: материалы 3-й Международной научно-технической конференции. Харьковский национальный университет радиоэлектроники – Харьков: НТМТ, 2014. - С. 69 – 70.

USE OF AFFINE INVARIANT MOMENTS FOR ARTIFICIAL OF NUMBERS PERCEPTION

E.I.SUKHARKOVA

*Ukrainian state academy of railway transport,
Kharkov, Ukraine*

The method of drafting of sequence of affine invariant moments is worked out for artificial of numbers perception on a plane, and intended for their authentication on ferrous-travelling movable facilities of transporting of loads.

KEYWORDS: *are artificial of numbers perception, central moments, affine invariant moments.*



БИОНИКА И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ В АРХИТЕКТУРЕ САНТЬЯГО КАЛАТРАВЫ

М.С. САЛЕХ, студент, (Ирак)

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье исследуются конструктивные особенности зданий, спроектированных известным испанским архитектором и инженером Сантьяго Калатравой. Проанализированы характерные особенности архитектурного подхода, геометрии и конструкции зданий, в основе которых лежит природная тема. Выявлена и обоснована связь работ Сантьяго Калатравы, бионики и аналитической геометрии, проанализировано формообразование зданий, разработанных этим архитектором.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бионика, Сантьяго Калатрава, геометрия, прочность, аналитические поверхности, архитектура, конструкции.

В наше время мы в большей степени окружены достаточно безликой и однообразной архитектурой. А ведь этот вид искусства оказывает большое влияние на человека, его настроение. Нас окружают однотипные дома, которые удивляют не качеством и не эстетическими характеристиками, а тем лишь высокими темпами их возведения. Лишь малая доля архитектурных сооружений обладает истинной, завораживающей красотой.

Сантьяго Калатрава является одним из самых гениальных архитекторов современности. Он заслужил всемирное признание благодаря своим удивительным, смелым, динамичным и, в то же время, тщательно продуманным работам в стиле “био-тек”. Бионика в архитектуре Сантьяго Калатравы положительно влияет на восприятие его объектов. Кажущаяся простота проектов и построек Калатравы достигается путём мобилизации всего арсенала современной системы статических решений. Игра растянутых и сжатых сил, движения и статического сопротивления, равновесия и динамического напряжения убеждают нас в том, что творческое озарение всегда присутствовало в логических построениях архитектурных фантазий Калатравы. Он отмечает, что деятельность инженера должна быть направлена на развитие моделей, которые реалистически воссоздают природу.

Калатрава широко применяет в своих конструкциях традиционные строительные материалы - бетон, сталь, алюминий, дерево, стекло и камень, но использует их по собственным принципам, комбинируя их в случае необходимости. Так камень, например, берется для строительства оснований или в случаях, когда требуется повышенная устойчивость по отношению к давлению; древесина используется, когда требуются длинные, относительно узкие строительные детали с умеренной устойчивостью к нагрузкам; а сталь применяется при высоких требованиях к натяжению.

Все его проекты, какими бы воздушными и нереальными они не казались, являются экспериментальными конструкциями, построенными на законах статики.

Вдохновение для своего творчества Калатрава черпал из работ знаменитого французского архитектора Ле Корбюзье [1], который также пытался сохранить природу и не вмешиваться в ее процессы, приподнимая конструкции своих зданий на сваи. Также, что корни его творчества лежат также в работах таких великих инженеров и архитекторов, как Кандела и Гауди. Как говорит сам Калатрава о своих конструкциях: «Консоль, к примеру, можно рассматривать в качестве простейшего изображения дерева. Ее крепление при этом можно сравнить с корневищем. И опора, и дерево одинаково подчиняются законам сгибания. А так же, например, собака, стоящая на четырех лапах, представляет собой изостатическое тело. Ее вес распределен по числу ног, и нет других сил, выполняющих эту функцию, кроме тех, что поставляются с помощью мускулатуры...» [2].

Сантьяго Калатрава, как и большинство других архитекторов, нередко встречался с неприятием его творческих идей. Неоднократно он слышал критику в свой адрес, например по поводу здания «Turning Torso» [3] (рис. 1), который, по мнению многих критиков не вписывался в окружающую среду города Мальм в Швеции, а также спорткомплекса в Афинах и др. Однако, подавляющая часть проектов Сантьяго Калатравы имела успех во всем мире.

Что касается самого здания «Turning Torso», то этот объект обладает природной пластичностью, которая присуща одушевленным предметам. Образ динамичного человеческого торса, охваченного движением, напоминает об античном метателе дисков. Калатрава создал его с помощью сдвинутых друг относительно друга кубов. Эта постройка составлена из девяти блоков, повернутых друг к другу под углом, что позволило создать поворот верхнего блока относительно нижнего на 90°. Устойчивость фундамента обеспечивается в первую очередь за счёт того, что он углублен в землю на 18 метров, три из которых закреплены в скальном основании [4]. А чтобы здание было во всех смыслах инновационным, его снабдили автономными источниками энергии: ветряной электростанцией и солнечными батареями. Воплощенная динамика объекта ярко выражается через скрученную форму, что придает необычайную эстетическую характеристику образу здания. Сама поверхность (рис. 2) относится к классу винто-

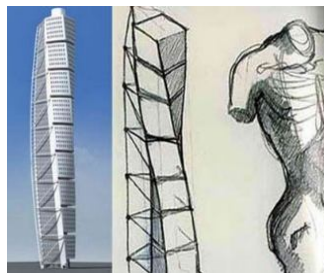


Рис. 1

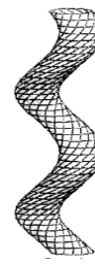


Рис. 2

вых поверхностей и образовывается винтовым движением окружности постоянного радиуса или фигуры определенного контура [8].



Рис. 3

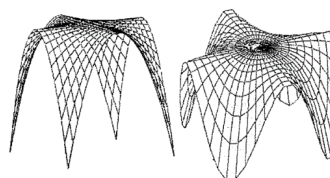


Рис. 4

Здание Океанариума в культурном центре «Город науки и искусства» Сантьяго Калатравы в городе Валенсия (рис. 3) имеет очень красивую волнообразную форму.

Конструкция данного здания напоминает поверхность зонтичного типа, который состоит из четырех одинаковых лепестков (рис. 4), разделенных перпендикулярными прямыми; это геометрическая поверхность четвертого порядка [8].

Одним из самых популярных воплощений бионики является здание L'Hemisferic (рис. 5), также расположенное в «Городе науки и искусства» [5]. За образную основу взят человеческий глаз (как полусфера внутри), а каркас здания - эллиптический параболоид [8] (рис. 6), который органично отражается в воде. Саму поверхность эллиптического параболоида можно получить, используя метод построения поверхностей диагонального переноса, это поверхность второго порядка.



Рис. 5

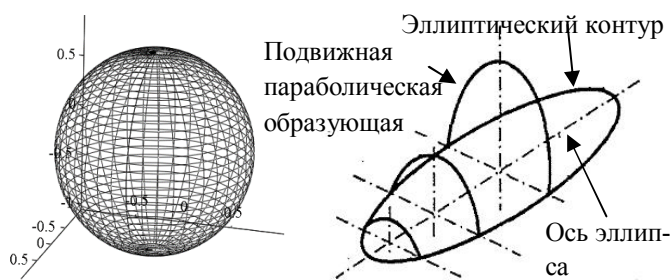


Рис. 6

Яркое выражение природной темы можно наблюдать в одной из последних работ Сантьяго Калатравы: вокзал «Ориенте» (рис. 7), который

является одним из самых крупных транспортных узлов Португалии [6]. Навес над платформами железнодорожных станций напоминает лес, а само здание - скелет рыбы, что придает визуальную легкость и невесомость объекту. Внутри здания не использовалась отделка - только "голые" бетонные конструкции. Здесь хорошо прослеживается метод скульптора - «отсечь все лишнее, чтобы получить идеальную форму».



Рис. 7

География проектов Калатравы ежегодно расширяется. В 2006 году он получил премию от ассоциации застройщиков Манхэттена, в 2007 г. работал в Америке и Италии. В

2008 году новый мост Калатравы украсил вход в Иерусалим; за свою форму этот мост был назван «Арфой Давида» и сразу же превратился в один из символов древнего города. Также в 2008 году был открыт мост Конституции через Гранд-канал в Венеции. В 2009 году была представлена кинетическая композиция в Израильском технологическом институте. В 2011 году закончилось возведение Дворца выставок и конгрессов в Овьедо. В 2012 году в Канаде состоялось открытие пешеходного моста Мира через реку Боу в Калгари, и теперь красная ажурная труба из стали и стекла является визитной карточкой этого города. Наконец, в 2013 году открылась новая железнодорожная станция Medio Padana в Италии. Сейчас Калатрава работает над Центром транспортировки в восстановленном Всемирном торговом центре в Нью-Йорке, Музеем будущего в Рио-де-Жанейро, оперным театром на Пальма-де-Майорке и другими объектами. Цель творчества испанского архитектора - достичь равновесия между архитектурой и инженерным строительством. Только этот путь позволит полностью раскрыть потенциал того или иного строительного материала, уверен Сантьяго Калатрава.

К сожалению, в России пока нет построенных зданий в стиле био-тек, но существует множество проектов, которые в скором будущем будут воплощены в жизнь. Человек устал от серых массивных панельных зданий, которые неблагоприятно влияют на психику, бионическая архитектура ближе для людей, благоприятна для восприятия, за ней будущее, что подтверждается многими реализованными проектами, конкурсными концепциями.

К одному из таких грандиозных проектов относится футуристическое поселение Вероники Гараниновой «Вязань-сити» (рис. 8), которое утопает в зелени и живет за счет энергии солнца и ветра [7]. Такая форма напоми-

нает циклическую поверхность с окружностями в плоскостях пучка и волнистой линией центров на цилиндре (рис. 9). Данную поверхность можно отнести к классу волнообразных поверхностей [8].

В заключении хотелось бы сказать, что и в будущем здания, построенные в стиле бионики, будут близки человеку. Архитектура Сантьяго Калатравы одновременно сложна для понимания того, как конструктивно устроены его здания, но с другой стороны они близки человеку по своей эстетической сути. В первую очередь Калатрава - инженер, который отлично разбирается в конструкциях [9]. Суть его работ заключается в сложной комбинации простых элементов, в результате чего появляются его невероятные конструкции, сочетающие в себе прочность, функциональность и незабываемые художественные образы.



Рис. 8

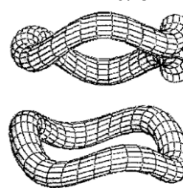


Рис. 9

Литература

1. *Hugh Aldersey-williams*. «Zoomorphic: New Animal Architecture». HarperCollins, 2003. -176 p.
2. www.the-village.ru
3. www.tffloor.ru
4. *Philip Jodidio* «Calatrava». - Taschen, 2010. – 528 p.
5. *Сантьяго Калатрава* «Равновесие динамики»
6. www.calatrava.com
7. www.ng.by/ архив
8. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М.* «Аналитические по поверхности». Научное издание. – М.: «Наука», 2006. – 544 с.
9. *Локотко А.И.* «Архитектура: авангард, абсурд, фантастика». – Минск: Беларус. навука, 2012. – 206 с.: ил.

BIONICA AND GEOMETRIC MORPHOGENESIS IN ARCHITECTURE BY SANTIAGO CALATRAVA

M.S. SALEKH

People's friendship university of Russia

The article investigates design features of the buildings designed by renowned Spanish architect and engineer Santiago Calatrava. Were analyzed the characteristics of an architectural approach, the geometry and structure of the buildings, which are based on the natural theme. Established and developed communication of works by Santiago Calatrava, bionics and analytic geometry, analyzed morphogenesis of buildings designed by this architect.

KEYWORDS: *bionics, Santiago Calatrava, geometry, construction, surface, architecture.*



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЯ

И.С.ТАБАКОВА

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

tabakovaira@gmail.com

Разработан основанный на использовании геодезической линии способ построения кратчайшей траектории движения робота по плоскости, который должен обойти препятствие. При этом геодезическая линия строится на специально выбранной вспомогательной поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: траектория движения робота, геодезическая линия, «обволакивающая поверхность», обход препятствий, решение системы уравнений для геодезических.

Одна из главных проблем, которая возникает при управлении мобильным роботом, состоит в построении траекторий движения, учитывая возможные препятствия на пути перемещения робота. При этом априори считается, что траекторию желательно определять кратчайшей. И вдобавок найденная траектория должна отвечать определенным условиям [1]. Например, робот, который в автоматическом режиме обследует некоторую зону, в конце пути должны достичь заранее известного места (в том числе, для подзарядки батарей). В работе [2] рассмотрен алгоритм определения траектории робота как интерпретации «движения по неплоской поверхности», идея которого заключается в следующем. Плоскую карту с наличием препятствий предлагается представить как неплоскую абстрактную поверхность, заменяя препятствия гладкими «холмами». Если движение по свободным от препятствий зонам (например, по асфальту, по песку, по траве, по заболоченной местности, и т.п.), связано с разными затратами ресурсов, то на указанной неплоской карте эти зоны также можно задать дополнительными условными «холмами» или «впадинами».

В работах [2,3] рассмотрены способы решения задачи в такой постановке с помощью геодезических линий и вариационных методов [4]. В работе [5] предлагается способ отслеживать среднюю (геодезическую) кривую, которая располагается между двумя предельными вспомогательными кривыми. Способ разработан для регулярных поверхностей и базируется на численном решении системы уравнений для геодезической в пространстве параметров поверхности. В работе [6] рассмотрен поиск геодезической приближенным способом конечной разности в виде «метода выстрелов», который на практике чувствительный к выбору начальных углов в начальной точке.

Постановка задачи. Разработать основанный на использовании геодезической линии способ построения кратчайшей траектории движения по плоскости робота, который должен обойти препятствие.

Для решения задачи выберем специальную вспомогательную поверхность, описать которую можно при помощи функции

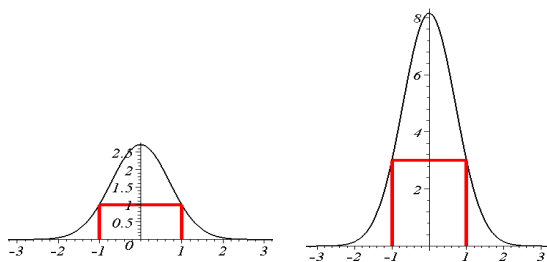
$$f(u) = h \exp\left(1 - \frac{(u-a)^2}{r^2}\right), \quad (1)$$

графики которой при $r = 1$ и $a = 0$ в зависимости от h приведены на рис. 1.

С помощью функции (1) образуем функцию двух переменных

$$f(u, v) = h \exp\left(1 - \frac{(u-a)^2 + (v-b)^2}{r^2}\right), \quad (2)$$

график которой при $r = 1, a = 1, b = 1$ и $h = 1$ приведен на рис. 2.



$h = 1$

$h = 3$

Рис. 1. Графики функции (1) в зависимости от параметра h

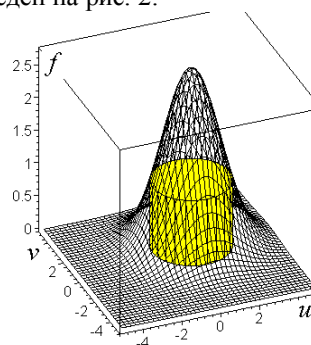


Рис. 2. График функции (2) при $r = 1, a = 1, b = 1$ и $h = 1$

На рис. 2 видно, как график функции (2) как бы «обволакивает» поверхность цилиндра, образованного в результате вращения вокруг вертикальной оси «ступенчатой» функции из рис.1. Здесь цилиндр является условным объектом; в дальнейшем будет использована лишь его проекция на горизонтальную плоскость (препятствие), а на «обволакивающей» поверхности будут строиться геодезические линии.

Для определенности рассмотрим задачу определения траектории движения робота от точки А к точке В при условии обхода препятствия G в виде круга на пути движения. Построенная геодезическая кривая должна соединять точки А' и В' на обволакивающей поверхности, проекциями которых на плоскости будут точки А и В.

Описать геодезическую линию будем путем решения системы дифференциальных уравнений [7]:

$$u'' + \Gamma_{11}^1 u'^2 + 2\Gamma_{12}^1 uv' + \Gamma_{22}^1 v'^2 = 0, \quad (3)$$

$$v'' + \Gamma_{11}^2 u^2 + 2\Gamma_{12}^2 uv + \Gamma_{22}^2 v^2 = 0.$$

С учетом начальных условий $u(0)=u_0$, $v(0)=v_0$, $u'(0)=du_0$, $v'(0)=dv_0$ система (3) имеет единственное решение. Это означает, что через каждую точку поверхности в заданном направлении проходит только одна геодезическая. Выражения Γ_{ij}^k называются символами Кристоффеля; они вычисляются при помощи коэффициентов второй квадратичной формы «обволакивающей» поверхности.

Для решения системы уравнений (3) использовался пакет Maple.

В качестве тестового примера рассмотрим поверхность, описанную уравнением

$$z = f(0,0,3)+f(2,2,2)+f(-2,-2,2)+f(-1,2,3)+f(1,-2,2)+f(2,0,2), \quad (4)$$

где

$$f(a,b,h) = h \cdot \exp(-(u-a)^2 - (v-b)^2).$$

На рис. 3 приведен результат выполнения программы - изображение геодезической на поверхности, и ее проекция на горизонтальную плоскость.

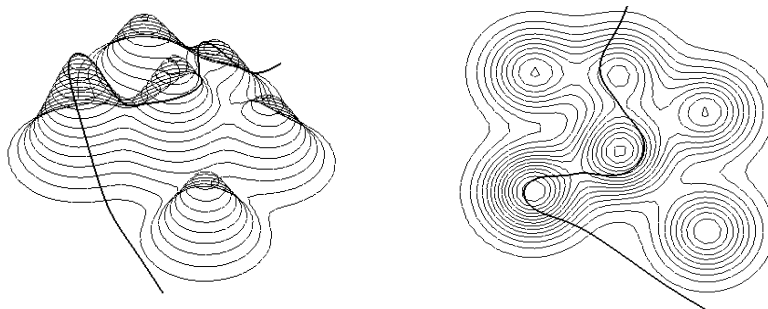


Рис. 3. Результат выполнения программы

В разработанном алгоритме для трассирования робота есть возможность влиять на форму траектории путем изменения параметра h в формуле (2).

Пример. На рис. 4 приведены некоторые варианты для $r = 2$. При этом стартовая точка имела координаты $\{u_0 = -5; v_0 = -5\}$. Направление первоначального движения задавалось вектором $\{Du_0 = 3; Dv_0 = 1.5\}$.

К преимуществам метода следует отнести возможность «наращивать» количество препятствий, используя R-функции для описания объединения препятствий.

Пример. Определим траекторию для обхода препятствий в виде кругов с единичными радиусами и с координатами центров, соответственно, (0,0) и (0,6).

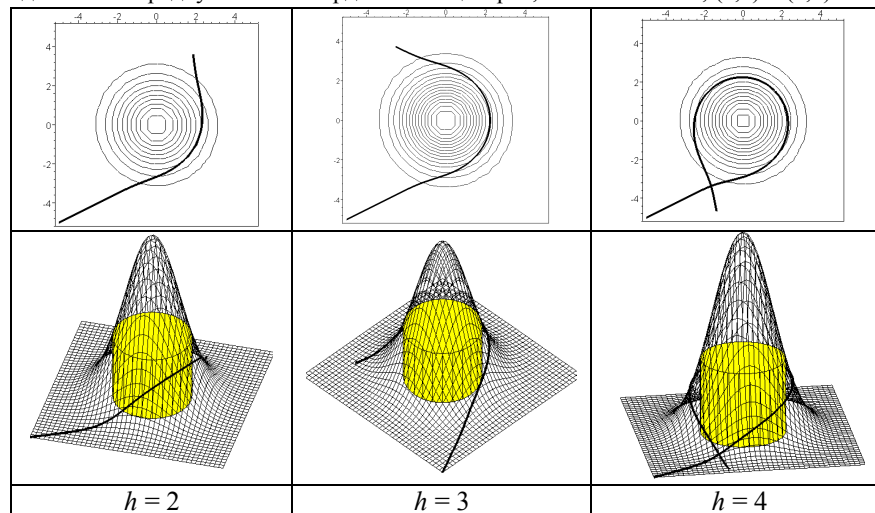


Рис. 4. Траектория движения в зависимости от значения параметра h
Обозначим

$$f_1(u, v) = h \exp(1 - u^2 - v^2); \quad f_2(u, v) = h \exp(1 - u^2 - (v - 6)^2) \quad (5)$$

и R-дизъюнкцию зададим формулой

$$F = (f_1(u, v) + f_2(u, v) + |f_1(u, v) - f_2(u, v)|) / 2, \quad (6)$$

или, в развернутом виде ($h = 2$)

$$F := e^{(1-u^2-v^2)} + e^{(1-u^2-(v-6)^2)} + \frac{1}{2} |2e^{(1-u^2-v^2)} - 2e^{(1-u^2-(v-6)^2)}|$$

На рис. 5 при $h=2$ изображен вариант вычислений траектории для координат точки старта $A(-5, -5)$ и вектора направления начального движения $\{Du_0 = 1,5; Dv_0 = 1\}$.

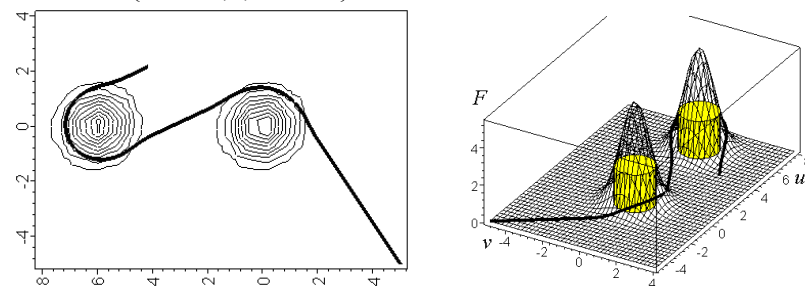


Рис. 5. Траектория движения для значения параметра $h = 2$

Заключение: Разработан метод описания и построения траектории движения по плоскости мобильного робота с условием обхода препятствий. При этом метод базируется на использовании геодезической линии для вспомогательной (обволакивающей) поверхности. Это позволяет варьировать траектории движения робота в зависимости от параметра, входящего в описание огибающей. Подбором этого параметра можно регулировать прохождение траектории через наперед заданную точку (или ее окрестность).

Литература

1. Springer handbook of robotics. / под. ред. Bruno Siciliano, Oussama Khatib, «Springer» - 2008. -140 p.
2. Построение траекторий движения для мобильного робота [Электронный ресурс] / С.-Петербург. ЦНИИ РТК. - Режим доступа : http://www.rusnauka.com/5_SWMN_2012/Tecnic/11_99991.doc.htm
3. *Vasilyev I.A., Lashin A.M.* Control System of Mobile Vehicle Developed for Cross-Country Motion. // Proc. «International Symposium on Industrial Electronics 2005», Dubrovnic – Croatia. P. 173-175.
4. *Смирнов, В. И.* Курс высшей математики [Текст] Т. 4./ В. И. Смирнов. - 6-е изд., перераб. -М. : Наука, – 1974. - 336 с.
5. Computation of Medial Curves on Surfaces [Электронный ресурс] Режим доступа <ftp://ftp.gdv.uni-hannover.de/papers/WLR1.pdf>
6. [Электронный ресурс] Режим доступа http://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-158j-computational-geometry-spring-2003/lecture-notes/lecnotes20_fixed.pdf
7. *Жукова, Н. И.* Геодезические линии на поверхностях [Текст] : учеб. пособие / Н. И. Жукова, А.В Багаев. - Н. Новгород : Издательство Нижегородского государственного университета, - 2008. - 54 с.

USE OF GEODESIC LINE FOR DETERMINATION OF TRAJECTORY ROUND OF OBSTACLE

I.S.TABAKOVA

*Kharkov national university of radioelectronics
Department of education of Ukraine*

The based is worked out on the use of geodesic line method of construction of the shortest trajectory of motion on the plane of robot that must go round an obstacle. Thus a geodesic line is built on the specially chosen auxiliary surface.

KEYWORDS are a trajectory of motion of robot, geodesic line, "enveloping a surface", round of obstacles, decision of the system of equalizations for geodesic line.



ВЗАИМОСВЯЗЬ ТРЕБОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ В НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТАХ

В.В. ФАТЕЕВА, студент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье исследуются действующие стандарты стран Европы и Америки в сфере «зеленого» строительства с точки зрения обеспечения надежности и прочности строительных конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конструкции, экологические строительные материалы, архитектура, энергоэффективность, национальные стандарты, LEED, BREEAM.

Главной задачей строительства является создание надежных, устойчивых, долговечных, безопасных и экономичных зданий. Основой каждого здания и сооружения являются несущие строительные конструкции. В процессе проектирования необходимо правильно подобрать и рассчитать конструкцию: она должна быть жесткой и иметь необходимый запас прочности. Проектирование строительных конструкций всегда приходится вести в условиях неопределенности, поэтому, как показывает многолетний опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений, эти расчеты должны базироваться на применении методов теории надежности и теории вероятностей, которые позволяют учитывать случайную природу поведения несущих конструкций в процессе эксплуатации [2]. При этом конструкции должны не только выдержать предполагаемые нагрузки, но и одновременно обеспечивать поддержание комфортного микроклимата помещений, который зависит от климатических и погодных условий, объемно-планировочных и теплозащитных параметров здания, технологических решений, систем обеспечения микроклимата (отопление, вентиляция, кондиционирование).

В последнее время все больше внимания уделяется экологической и энергетической эффективности зданий. Во-первых, большую часть своей жизни современный человек проводит в искусственной производственной или жилой зоне, где используемые материалы, конструкции и изделия воздействуют на здоровье и самочувствие человека, на его трудоспособность. Во-вторых, на здания приходится значительная доля энергопотребления. Спрос и цена на энергоресурсы с каждым годом возрастают, необходимо принимать во внимание фактор энергоэффективности.

В лидирующих странах мира внедряются национальные стандарты в области «зеленого» строительства. К сожалению, в России многие действующие ГОСТы и СНИПы не обновлялись с прошлого века, не разработа-

ны единые требования к энергетической эффективности зданий [4]. Государственное регулирование процессов стандартизации в строительной отрасли просто не успевает за жизненными реалиями. Очевидно, что необходимо внедрять в строительную практику новые конструктивные решения, которые вносят минимальные изменения в экологическую обстановку, обладая при этом выгодными технико-экономическими показателями в сравнении с другими конструкциями. Нужно применять современные долговечные конструкции из новых материалов, которые повышают комфортность внутренней среды.

Одним из актуальных вопросов продолжает оставаться проблема повышения теплозащитных функций ограждающих конструкций, обеспечения их долговечности. Теплоизоляционные материалы давно используются для утепления перекрытий, кровель и стен. Однако простое увеличение толщины стен или добавление слоев изоляции к ограждающим конструкциям не решает проблемы, так как приводит к существенному увеличению стоимости строительства. Выходом из этой ситуации является легкий несущий каркас, заполненный эффективным утеплителем, с отделкой внутри и снаружи тонкими сборными плитами из композитных материалов.

С экологической точки зрения неблагоприятные последствия могут иметь контакты людей с различными поверхностями. Бетон, например, может содержать токсичные вещества - амины, растворители и др. Поэтому должна производиться тщательная проверка свойств бетона. Стоит отметить, что исследования санитарно-гигиенических свойств бетона показали перспективы возможного использования его особенностей в целях улучшений санитарных характеристик воздуха. Щелочная среда затвердевшего цементного камня способна нейтрализовать многие соединения, представляющие опасность для человека. Поэтому ограждающие конструкции жилых зданий можно рассматривать не только как конструктивный и теплоизоляционный элемент, но и как фильтр для окружающего воздуха. В конструкцию стены могут быть включены специальные прослойки, или непосредственно в состав бетона введены вещества, очищающие воздух от загрязнений, например микробиологические фильтры.

Строительные решения, основанные на повторно использованных материалах, помогают снизить потребление энергии и выбросы углерода в течение срока службы здания. Ярким примером такого материала является сталь. Сталь обладает целым рядом преимуществ: во-первых, она обладает высокой пригодностью к повторному использованию, более того, в процессе повторного использования сталь никогда не теряет свои основные свойства и поэтому может использоваться в производстве стальной продукции снова и снова; во-вторых, модифицируемость и гибкость, в-третьих, долговечность, в-четвертых, из стали получают относительно легкие конструкции. Последнее время все более широко используются

высокопрочные стали, которые в несколько раз прочнее обычных низкоуглеродистых, что приводит к значительному снижению веса конструкций и здания в целом. Снижение материалоемкости стальных конструкций осуществляется не только за счет повышения прочности сталей, но и за счет внедрения более рациональных и эффективных конструктивных форм и сечений (применение прокатных широкополочных и сварных профилей, предварительно напряженных и биметаллических балок, пространственных и висячих конструкций и др.).

Безусловно, учет требований экологической безопасности и охраны окружающей среды в контексте устойчивого развития невозможен без оценки воздействия строительных объектов на природу и экосистемы [1]. Оценкой экологически безопасного и энергетически эффективного строительного процесса занимаются добровольные, некоммерческие организации. Например в России это - Зеленые стандарты, АВОК, Совет по экологическому строительству. Они играют большую роль в развитии национальных «зеленых» стандартов. Организации консультируют частные лица, производят оценку зданий, следят за технологией строительства, побуждают архитекторов внедрять современные экологические и энергоэффективные методы проектирования, например: американские стандарты LEED созданы специально для организации наиболее приемлемого строительства, в частности они контролируют исполнение эффективного использования энергии и

воды, снижение выбросов двуокиси углерода, обеспечение наиболее приемлемого климата внутри помещения, управление ресурсами и отслеживание влияния человеческой деятельности на их состояние [3], британская программа BREEAM охватывает широкий спектр вопросов устойчивого развития и охраны окружающей среды и позволяет застройщикам и проектировщикам демонстрировать преимущества использования экологически эффективных технологий своим партнерам. Германская система DGNB активно развивается и по мнению экспертов по уровню соответствует ведущим международным системам сертификации экологически

Количество требований рассматриваемого раздела, %	Название экологического стандарта	
	BREEAM	LEED
Инженерно-технические системы, оборудование	20,02	34,6
Объемно-планировочные решения	14,56	5,76
Эффективное использование материалов	10,92	19,2
Конструктивные решения	3,64	3,84
Эстетические решения	1,82	1,92

Таблица 1 [5]

гичного строительства, японский стандарт CASBEE тестирует объекты по критериям эффективного использования электроэнергии, ресурсов и строительных материалов, загрязнения воздуха, недостатка солнечного света, уровня шума и звукопроводимости, подверженности разрушительному воздействию ветра, качества внутреннего микроклимата, долговечности и надёжности, австралийский стандарт Green Star уделяет большое внимание географическому положению объекта. На его основе разрабатываются новые стандарты для общественных и жилых зданий.

Кстати, именно американская LEED и британская BREEAM считаются международными системами [6]. При анализе стандартов BREEAM и LEED (таблица 1) определены их основные цели: защита окружающей среды; благоприятные условия для здоровья человека; экономичная целе-



Рис.1



Рис.2

сообразность. Системы в большей степени нацелены на коммерческую выгоду, в наименьшей степени проявляется забота об окружающей среде и не рассматривается возможное влияние энергоэффективных конструктивных

решений. Оценке подлежат лишь технические составляющие здания и не берутся во внимание такие аспекты, как эстетически привлекательные архитектурные решения.

Примером сооружения сертифицированного по LEED и соответствующего всем его стандартам является павильон в Ботаническом саду Квинс в Нью-Йорке (рис 1). Навес, под которым стоят столики кафе, имеет вогнутую форму. Он собирает дождевую воду, которая стекает в накопительный бассейн, а потом дальше течет по каналам. Так за счет конструкции крыши и специальных каналов для сбора дождевой воды (рис. 2) павильон становится более энергоэффективной и экологической системой.

Другой пример здания оцененного по стандарту BREEAM офис Ropemaker в Лондоне (рис. 3). Теплоизоляционная система фасадов минимизирует расходы энергии на отопление, охлаждение, потребность в электричестве. Полностью стандартизирован-



Рис.3

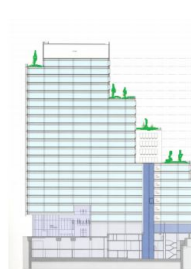


Рис.4

ная древесина по стандарту FSC и материалы повторного цикла везде, где только это возможно. Конструкция тоже играет немаловажную роль, она представляет собой форму ступенчатых блоков (рис. 4), каждый из которых меньше по объему за счет отступа (шага стены) внутрь по трем сторонам. В результате на крышах создается зеленое пространство (сады, газоны).

Заключение:

Рассмотренные в статье проблемы позволяют сделать вывод о важности привлечения в России некоммерческих организаций и развитии частного-государственного партнерства при разработке новой системы стандартов в сфере строительства с учетом международного опыта и особенностей экономико-географического положения нашей страны, с тесной увязкой вопросов: экологичность материалов, прочность, долговечность и энергоэффективность конструкций, внедрение перспективных конструктивных решений, энергосбережение, вторичное использование материалов, переработка отходов, эстетические формы зданий.

Литература

1. Румянцева Е.Е. Экологическая безопасность строительных материалов, конструкций и изделий. / Е. Е. Румянцева, Ю. Д. Губернский, Т. Ю. Кулаков М: Университетская книга. 2011. 200с.
2. Пшеничкина В.А. Надежность строительных систем: учебное пособие / В. А. Пшеничкина, А. Н. Богомолов, А. А. Чураков. :ВолгГАСУ, 2010. 40 с
3. *Sam Kubba*. LEED Practices, Certification, and Accreditation Handbook / MA : Butterworth-Heinemann/Elsevier 2010. 548с.
4. Российская газета- Спецвыпуск "Экология" №6095 (119)
5. Сухинина, Е.А. Об экологических нормативах в архитектурно-градостроительном проектировании / Е.А. Сухинина Вестник Оренбургского гос. университета : науч.-тех. журнал, 2014. - № 1(162), 211 с.
6. <http://www.abok.ru>

INTERRELATION OF STRENGTH REQUIREMENTS, ENERGY EFFICIENCY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY OF CONSTRUCTION STRUCTURES AND MATERIALS IN NATIONAL STANDARDS

V. V. FATEEVA, *student*
People's friendship university of Russia

The article researches the current standards of Europe and America in the field of «green» building in terms of reliability and durability of structures.

KEYWORDS: construction designs, ecological construction materials, architecture, energy efficiency, national standards, LEED, BREEAM.



К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ДИНАМИКЕ ОБОЛОЧЕК В ФОРМЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПАРАБОЛОИДА

Л.А. АЛБОРОВА, студент

Государственный университет по землеустройству, Москва

Имеется несколько обзоров по геометрии поверхностей в форме эллиптического параболоида, по расчету на статическую прочность и устойчивость оболочек в форме эллиптического параболоида и по определению частот собственных колебаний этих оболочек. В статье кратко резюмируются наиболее важные результаты по указанным позициям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аналитические методы расчета оболочек, численные методы расчета оболочек, эллиптический параболоид, устойчивость оболочки, динамические воздействия на оболочку.

Имеются обзоры по расчету, проектированию и применению оболочек в форме цилиндрических оболочек некругового очертания, в форме гиперболических параболоидов, коноидов, винтовых, торсовых и сферических поверхностей, в форме трехосных эллипсоидов и эллипсоидов вращения, параболоидов вращения, в форме однополостного гиперboloида и эллиптического параболоида [1-3]. Указанные оболочки нашли применение в строительстве, машиностроении, судо- и самолетостроении. Предлагаемые к рассмотрению в настоящем обзоре оболочки в форме эллиптических параболоидов, по-видимому, применяются, в основном, в строительстве [3].

Наиболее полно геометрия эллиптических параболоидов, а также исследования по напряженно-деформированному состоянию оболочек в форме этих поверхностей, практические задачи, относящиеся к эллиптическим параболоидам, представлены в монографиях [4, 5].

Используя вышеуказанные источники, кратко перечислим наиболее используемые в настоящее время методы расчета рассматриваемых оболочек на прочность, устойчивость и динамику.

Эллиптический параболоид – незамкнутая нецентральная поверхность второго порядка.

В явном виде поверхность эллиптического параболоида задается уравнением:

$$\frac{x^2}{p} + \frac{y^2}{q} = 2z, \quad (1)$$

где $p, q > 0$ (каноническое уравнение), рис. 1. Если принять $p = q$, то

эллиптический параболоид вырождается в параболоид вращения.

В начальный период исследования тонких оболочек, в основном, применялась безмоментная теория расчета. Безмоментная теория расчета тон-

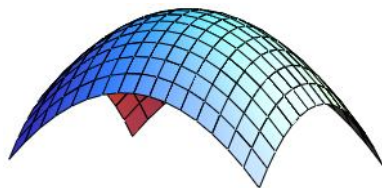


Рис. 1

ких оболочек в форме эллиптического параболоида использовалась Л. Фишером (L. Fischer), М.Н. Павловичем (M.N. Pavlović), В.З. Власовым и другими исследователями. Л.Г. Лантух [3] дает примеры расчета безмоментных оболочек переноса, заданных в виде (1), нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Для решения задач необходимо использовать таблицы вспомогательных коэффициентов. По этому методу расчета сначала находятся проекции нормальных усилий N_{xp} и N_{yp} на плоскость xOy , а затем и сами нормальные усилия N_x , N_y в оболочке. Решение с помощью таблиц намного проще, чем решение посредством функции напряжений. В первом случае объем вычислительной работы сокращается вдвое.

Изгиб упругой оболочки в виде эллиптического параболоида, опертого на ребра, изучался К.Г. Змиевским. Он использовал техническую теорию пологих оболочек В.З. Власова и получил систему трех дифференциальных уравнений в перемещениях, для решения которой применил метод конечных интегральных преобразований Фурье. Для числового примера взята оболочка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Полученные численные результаты сравнивались с результатами, полученными при помощи метода конечных разностей и МКЭ.

Решение в одинарных тригонометрических рядах применялось при расчете полой оболочки переноса, опирающейся на двух противоположных краях на тонкие стенки и на упругое основание типа Винклера [6].

Василенко А.Т. привел решение задачи о напряженном состоянии ортотропной толстой полой оболочки в форме эллиптического параболоида. Для прямоугольной в плане оболочки, торцы которой не смещаются в своей плоскости и свободны от нормальной нагрузки, был применен метод разделения переменных, после чего проблема свелась к одномерной краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с кусочно-непрерывными коэффициентами, которая решается численным методом.

Гамбарова П. и Карини А. [5] с помощью двух совершенно различных подходов провели анализ мембранных и изгибных напряжений в равномерно загруженной оболочке в форме эллиптического параболоида на прямоугольном плане с шарнирным опиранием в углах. Для вычислений мембранных напряжений использовалась теория Пухера для полуобратной задачи. Интересные результаты применительно к задачам расчета пластин и оболочек, расположенных на точечных опорах, при действии на них локальных нагрузок и точечных возмущений, приводит С.А. Видюшенков. Он отмечает, что численные методы в этих случаях оказываются малоэффективными и, в связи с этим, аналитические методы продолжают играть определяющую роль по исследованию напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек, расположенных на точечных опорах.

А.Т. Козлов (РУДН) провел расчет пологой оболочки на эллиптическом плане, принимая за малый параметр μ безразмерную величину $\mu = f/a$, где f – стрела подъема оболочки, a – малая полуось опорного эллипса. Л.С. Срубщик [5] установил, что вторичный краевой эффект может иметь место при изгибе упругих тонких пологих жестко защемленных оболочек в форме эллиптического параболоида, находящихся под действием внутреннего давления. Полученное асимптотическое решение отвечает равновесию с только растягивающими усилиями.

Другой подход использовался И.Н. Слезингером и С.Я. Барской, которые исследовали влияние неоднородности на НДС пологой оболочки со срединной поверхностью в виде эллиптического параболоида. Задача рассматривалась в геометрически нелинейной постановке. Основные уравнения решены методом Бубнова – Галеркина.

В ряде случаев обычные аналитические методы не обладают достаточной общностью, позволяющей найти решения для большого количества оболочек разнообразных геометрических форм. К тому же краевые условия часто не соответствуют случаям, для которых могут быть найдены решения. Достижения в области вычислительной техники обеспечили возможность исследования многих проблем численными методами. К числу методов, ставших особенно популярными, относятся метод сеток, вариационно-разностный и метод конечных элементов.

Метод сеток стал популярен задолго до появления ЭВМ, однако современная вычислительная техника стала важнейшим стимулятором дальнейшего его развития и широкого приложения сеточных методов к решению задач инженерной практики. П.М. Варвак и Л.П. Варвак [7] применили метод сеток для расчета пологой оболочки типа эллиптического параболоида с квадратным планом и шарнирно-неподвижным опиранием краев.

Т.И. Апраксина (Волг. инж.-стр. ин-т, Волгоград) провела сравнительное исследование напряженного состояния оболочки в форме эллиптического параболоида по теории пологих и непологих оболочек, заданных в косоугольных криволинейных координатах. Впервые был применен метод конечного элемента.

В 1963 г. Д. Пракаш [3] рассмотрел прямоугольную в плане оболочку в форме эллиптического параболоида, нагруженную внутренним давлением. Края оболочки – свободно оперты. Разрешающее уравнение путем замены переменных относительно функций напряжения Д. Пракаш свел к уравнению Пуассона с постоянной правой частью, которое затем впервые было решено с помощью метода конечных разностей. В.И. Андрушков и А.О. Рассказов в 1981 году на основе гипотезы прямых вертикалей вариационным путем получили систему 3-х уравнений равновесия в перемещениях для моментной теории непологих оболочек произвольной формы в прямо-

угольных координатах. Реализация полученных уравнений осуществлялась методом конечных разностей на примерах расчета пологой и подъемистой оболочек в виде эллиптического параболоида.

Теоретические исследования несущей способности пологих оболочек с отверстиями различной формы и величины, выполненные кинематическим методом теории предельного равновесия, показали, что небольшие отверстия не только не снижают несущей способности, но могут даже повысить ее. Для проверки полученных теоретических результатов М.Ш. Варваком и А.С. Дехтярем (Киев) [69] впервые были проведены эксперименты с моделями свободно опертых железобетонных пологих оболочек.

Экспериментальные исследования модели стадиона «Шахтер» в г. Донецке (Украина) описываются Е. Хороховым, В. Муцановым и В. Касимовым [5]. Модель покрытия имеет форму усеченного эллиптического параболоида.

Первые результаты по определению критического давления для жестко закрепленной тонкой, пологой оболочки в форме эллиптического параболоида с плоским эллиптическим краем получил А.В. Погорелов в предположении, что область выпучивания оболочки не мала. В.И. Бабенко (Физ.-техн. ин-т низк. температур НАН Украины, Харьков) [9] получил выражения для докритических безмоментных усилий и соотношения, вытекающие из условий жесткого закрепления плоского края непологой оболочки при равномерном внешнем давлении, позволяющие единообразно вычислять значения критического давления, исходя из полученного им ранее критерия устойчивости строго выпуклых оболочек, очерченных по поверхностям второго порядка. Свою методику В.И. Бабенко проиллюстрировал численным счетом. По-видимому – это последняя работа, посвященная расчету рассматриваемых оболочек на устойчивость.

Собственные колебания тела в форме эллиптического параболоида, находящегося в ограниченном объеме жидкости, и колебания уровня этой жидкости исследуются Х. Хукудой (Hisashi Hukuda, Kyushu University, Kasuga, Япония). Для моделирования оболочек двойной кривизны Саху С.К. и Датта П.К. (Индия, Kharagpur, Department of Aerospace Engineering) применили конечный элемент, учитывающий поперечные перерезывающие деформации и инерцию вращения. Примененная теория распространяет теорию динамической поперечной деформации с применением первой аппроксимации Сандлера на случай многослойной оболочки двоякой кривизны, которая затем сводится к теориям Лява и Доннела посредством использования «меченных следов» (tracers). Определялись безразмерные собственные частоты.

Ни в зарубежных, ни в российских научно-технических источниках материалов по экспериментальным исследованиям собственных или вынужденных колебаний оболочек не обнаружено.

Литература

1. *Кривошапко С.Н., Алборова Л.А.* Проектирование, расчет и применение оболочек в форме эллиптических параболоидов// Основные тенденции развития архитектурно-строительного комплекса XXI века: Сб. научн. тр. Международной научно-практ. конф., 27-30 марта 2007. – Орел: изд-во Орел ГАУ, 2007. – С. 221-228.

2. *Кривошапко С.Н.* Геометрия, расчет и применение оболочек в форме эллиптических параболоидов// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007. – № 2. – С. 23-29.

3. *Кривошапко С.Н.* Расчет, проектирование и применение тонких оболочек в форме эллиптических параболоидов. – Вып. 4. – Сер. «Строительные конструкции и материалы». – М.: ОАО ВНИИИТПИ, 2007. – 40 с.

4. *Beleş Aurel A., Soare Mircea V.* Elliptic and hyperbolic paraboloidal shells used in constructions. – Buchares, Ed. acad. Romane London, S.P. Christie and Partners Consulting Eng., 1976. – 751 p.

5. *Кривошапко С.Н., Мамиева И.А.* Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий: Монография. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 328 с.

6. *Fareed Adel, Dawoud R.H.* Elliptical parabolic shell of equal curvatures resting on an elastic foundation// Int. Symp. “Innov. Appl. Shells and Spat. Forms”, Bangalore, Nov. 21-25, 1988: Proc. Vol. 1. – Rotterdam, 1989. – P. 239-251.

7. *Варвак П.М., Варвак Л.П.* Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 154 с.

8. *Варвак М.Ш., Дехтярь А.С.* Экспериментальное исследование несущей способности пологих оболочек с центральным отверстием// Прикладная механика (Киев). – 1970. – Том VI, вып. 3. – С. 122-125.

9. *Бабенко В.И.* К определению асимптотического значения критического давления для строго выпуклой оболочки, очерченной по поверхности второго порядка// Физ.-техн. ин-т низк. температур НАН Украины. – Харьков, 2004. – 11 с., библи. 9 назв., деп. в ГНТБ Украины 26.07.2004. – № 59-Ук2004.

ON STRENGTH, STABILITY AND DYNAMICS OF THE SHELLS IN THE SHAPE OF AN ELLIPTIC PARABOLOID

L.A. ALBOROVA

State University of Land Planning, Moscow

There are several reviews on geometry analysis of the static strength and stability of shells in the form of elliptic paraboloid and definition of their natural frequencies. The article briefly summarizes the most important results in the specified position.

KEYWORDS: *analytical methods for analysis shells, numerical methods for calculating shells elliptic paraboloid shell stability, dynamic effects on the shells.*



CONSTRUCCION DEL GRAN CANAL INTEROCEÁNICO DE NICARAGUA

DOMÍNGUEZ VELÁSQUEZ KALHARY, *estudiante, (Nicaragua)*
RUDN, Moscú, Rusia

El siguiente artículo describe las generalidades del ambicioso proyecto del Gran Canal Interoceánico de Nicaragua expuestas por Dong Yunsong, ingeniero principal de gestión de construcción de HKND, quien estuvo a cargo de la presentación de la ruta del Canal Interoceánico de Nicaragua, y demás subproyectos a construirse en dicha obra.

Dong Yunsong, ingeniero principal de gestión de construcción de HKND, quien estuvo a cargo de la presentación de la ruta del Canal Interoceánico de Nicaragua, resaltó que el proyecto tiene un significado importante para Nicaragua.

“Dicho proyecto puede reducir en gran medida la distancia de los países de Asia y Norteamérica, a la costa este de Suramérica y a los países de Europa [1] asumirá el 5% de la totalidad del transporte de la totalidad del comercio mundial lo cual representará enorme beneficios económicos para Nicaragua. Con la duplicación del PIB nacional, Nicaragua se convertirá en uno de los países más ricos de América Central”, afirmó.

Explicó que el megaproyecto requerirá la contratación de más de 50 mil trabajadores durante la etapa de construcción y se prevé la generación de más de 200 mil empleos en la etapa de operación.



Imagen 1. Rutas comerciales

CANAL-seis subproyectos

También detalló 6 subproyectos que en su totalidad conforman el megaproyecto del Canal Interoceánico. El Primer subproyecto es el Canal que cruzará el territorio de este a oeste con una longitud de 278kilómetros aproximadamente, con un tramo de 105 kilómetros en el lago de Nicaragua. El

segundo subproyecto consiste en la construcción de dos puertos. HKND planea construir un puerto por cada lado del Canal, en el Pacífico y el Caribe. Se determina preliminarmente la obra del lado pacifico como la obra de inicio. El tercer subproyecto es la zona de libre comercio en Brito.

El cuarto es la construcción de un complejo turístico que estará ubicado en San Lorenzo. El quinto subproyecto es un aeropuerto que estará al norte de Rivas. Y el sexto subproyecto es la construcción de carreteras, cuyo principal objetivo es recuperar la red vial que será cortada con la construcción del Canal y conectará a los subproyectos. Sin embargo, Yunsong aclaró que a fin de garantizar el suministro de materias y energía durante la ejecución del proyecto y la operación del mismo, HKND ha sugerido los subproyectos de construcción de plantas de electricidad, de acero y de cemento, entre otras, las cuales están en proceso de estudios de factibilidad.

Ruta escogida con criterios medioambientales

Se explicó que los diferentes estudios e investigaciones realizados por las empresas contratadas por HKND determinaron que la ruta más factible para la construcción del Canal es la número 4, de las 6 posibles que se previeron. “Según los previos estudios y el resultados de investigaciones de campo seleccionamos 6 posibles rutas. Después de consideraciones globales los estudios se han enfocado en la ruta 3 y 4. Después de considerar factores medioambientales, sociales, así como los de recursos hidricos, geología, energía, inversión etc., recomendamos la ruta 4”. [2]

Asimismo, explicó que HKND siempre puso en primer lugar el factor medioambiental en el trabajo y por esa razón la ruta seleccionada fue la número 4 que pasa por la desembocadura del rio Brito, al sur de Rivas, el norte de Tule, y tiene la entrada cerca de la desembocadura del Rio PuntaGorda.



Imagen 2. Alternativas de Ruta

Según Yunsong el Canal Interoceánico de Nicaragua permitirá el paso de portacontenedores de 25mil TEU, barcos graneleros de 400 mil toneladas y petroleros de 320 mil toneladas. Se estima que cada año puedan pasar por el Canal, 5 mil 100 barcos con 30 horas de tránsito por cada barco. También dijo que se construirán dos esclusas en el Canal. En el lado pacífico, la esclusa Brito que estará ubicada cerca de la comunidad de Río Grande, en Rivas. Y la otra esclusa, del lado Caribe, que se encontrará cerca de confluencia del caño Eloísa y el Río Punta Gorda.

Despeja algunas dudas sobre la construcción del megaproyecto

Yunsong se refirió a algunas de las cuestiones logísticas a las que se enfrentará la empresa HKND con la construcción del Canal Interoceánico y que podrían generar dudas respecto a su realización. Explicó que la operación del canal no causará cambios significativos del nivel del Lago de Nicaragua ni afectará el uso del agua por los habitantes de la cuenca.

“El Canal aprovechará principalmente el agua captada de la cuenca del río Punta Gorda la cual es suficiente para la operación del canal”, indicó Yunsong.

Explicó que se prevé crear un lago artificial que se formará después de la construcción del Canal con una superficie de 400 kilómetros cuadrados. “El agua captada en este lago no solamente va a suministrar y satisfacer la demanda de uso de agua de la operación del Canal, sino que también se puede desarrollar como centro de ecología, de turismo y como sede de acuicultura que puede beneficiar en proyecto, aprobar la ruta 4 por ser la más idónea en cuanto a la protección de nuestros diferentes ecosistemas ambientales, la ruta aprobada contempla la desembocadura del Río Brito, en el sur de Rivas, el norte del Río Tule hasta la entrada por el Río Punta Gorda. Esta ruta cruza el territorio nacional de este a oeste, con una longitud de 278 kilómetros, incluyendo un tramo de 105 kilómetros del Lago Cocibolca. De acuerdo a la explicación técnica, esta ruta tendrá entre 230 a 530 metros de ancho y entre 26 y 30 metros de profundidad. Vega enfatizó que los criterios de la selección de la ruta contempla la protección de nuestras fuentes hídricas, como el Lago de Nicaragua, las diferentes reservas forestales, los distintos corredores biológicos, la protección a las diversas especies en peligro de extinción y los humedales. Indicó que los estudios ambientales y sociales continuarán profundizándose, pues el criterio es proteger de manera integral los recursos naturales, para poder aconsejar al concesionario HKND ya la Comisión Desarrolladora del Gran Canal, a fin que tomen la mejor decisión. En la presentación se destaca el deterioro ambiental que ha venido sufriendo el suroeste de Nicaragua desde 1983 hasta la fecha, con pérdidas de 145 kilómetros cuadrados al año, lo que significa un 40 por ciento de los recursos forestales de una zona de 23 mil 773 km cuadrados.

El patrón de deforestación avanza de noreste a sureste, situación que tiene que ser remediada en la medida que avance el proyecto citado.

“Todo esto es relevante porque precisamente la empresa HKND que es la promotora del proyecto y la concesionaria del Canal por Nicaragua, nos indicó que estaba comprometido con las mejores prácticas internacionales para el desarrollo de un magno proyecto de infraestructura como es éste y ese ha sido el primer elemento de la participación nuestra en el proyecto, ayudando

a HKND con información y criterios ambientales y sociales en la decisión que han tomado para la ruta seleccionada”, subrayó Vega.

gran medida a los habitantes alrededor del lago”, indicó. En cuanto a la preocupación sobre dónde serán colocados los materiales excavados con la construcción del Gran Canal, indicó que se construirán 41 depósitos de material excavado a lo largo del Canal, en zonas consideradas con menor impacto al medio ambiente. “Vamos a tomar medidas para restaurar esos depósitos. La superficie de estas zonas será aplanada. Después de tomar medidas de restauración estos depósitos se convertirán en tierras agrícolas de alta calidad y servirán para otros propósitos”, manifestó. En cuanto al posible impacto de actividad volcánica o sísmica, dijo que se realizaron consultas al instituto de geología de la administración de terremotos de China. “El resultado demuestra que los volcanes no tendrán efectos negativos en la operación normal del Gran Canal. Se aplicarán teorías de diseño más avanzadas de nivel internacional y las medidas adecuadas de construcción, así se podrá garantizar que el canal no sufrirá daños si ocurriera un terremoto ni tendría un efecto negativo a la operación de la obra”, afirmó.

HKND reitera compromiso con el pueblo nicaragüense

Finalmente, Yunsong indicó que HKND reitera el compromiso de la empresa para trabajar junto con el pueblo nicaragüense “y construir un Gran Canal amigable con el medioambiente y beneficioso para el pueblo”.

Consideraciones técnicas, ambientales y sociales

Por su parte, el señor Alberto Vega, Director Técnico de la firma consultora Environmental Resources Management (ERM), realizó una presentación de las consideraciones técnicas ambientales y sociales realizadas en las diferentes propuestas para el Gran Canal Interoceánico, lo que permitieron al consorcio HKND y a la Comisión Desarrolladora del mega

References

1. Entrevista licitada con empresa china a cargo del proyecto de la Construcción del Gran Canal Interoceánico de Nicaragua. <http://www.nodal.am/2014/07/nicaragua-empresa-constructuro-china-presento-la-ruta-definitiva-del-gran-canal-interoceanico/>

2. Noticias televisadas de Nicaragua (investigación del proyecto Canal de Nicaragua), a cargo de Bolsa de Noticias, Canal 10.

<http://www.nodal.am/2014/07/nicaragua-empresa-constructuro-china-presento-la-ruta-definitiva-del-gran-canal-interoceanico/>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО КАНАЛА ИНТЕРОСЕАНИКО В НИКАРАГУА ДОМИНГЕС ВКЛАСКЕС КАЛХАРИ, студент, (Никарагуа) Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье изложены общие сведения об амбициозном проекте канала Interoceánico в Никарагуа, предложенном главным инженером строительного управления «HKND» Донгом Джонсоном, и о других, предложенных проектах.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. ТРАОРЕ МАТЕНИН, студент, (Кот-д'Ивуар)
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье рассматриваются основные этапы развития кулачковых механизмов и применение их в различных отраслях промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кулачок, толкатель.

Кулачковый механизм появился еще в XI, когда заменили рабочий орган мельницы — жернова — кулачком. Кулачок предназначался для управления работой молотов при изготовлении сукна. Кулачок рассматривали как зубчатое колесо с одним зубом, и выполнялся он из дерева. Схема механизма представлена на рис. 1.

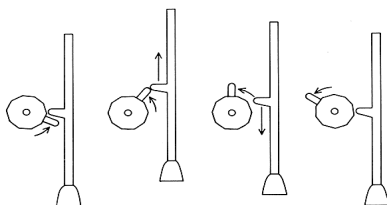


Рис. 1. Принцип действия механизма молота.

С помощью кулачка, устанавливаемого на валу колеса, осуществлялось преобразование вращательного движения вала в поступательное движение молота. Вращающийся кулачок входил в зацепление с выступом на стержне молота. Во время зацепления кулачок поднимал молот, который затем падал, производя удар [1, 2].

В XI и XII веках стали строить кузнечные молоты и кузнечные мехи, в XIII веке появились бумажные фабрики, а в XIV — дробилки. Во всех этих устройствах использовали кулачковый механизм. Все эти машины работали от водяного колеса. На рис.2 показана машина для производства бумаги. Кулачки С, расположенные на валу колеса А, поднимали молоты D,E, которые при падении выполняли удар по материалу для изготовления бумаги. К концу XIV века такими установками начали оборудовать плавильные печи. Свои элементарные формы кулачок сохранял на протяжении семи веков — с XI по XVIII в. Объясняется это тем, что скорости движения рабочих органов машин, в состав которых входили кулачки, были крайне малы.

В II веке в Китае появился кривошипный механизм, также преобразующий вращательное движение в поступательное. В том виде, в каком этот механизм известен нам, он стал применяться в Европе лишь в IX в.

В конце XVII - начале XVIII в. промывные станки для льняных тканей сочетали в себе водяное колесо и кривошипный механизм, с помощью которых приводились в движение стиральные деревянные доски с гофрированной поверхностью, между которыми пропусклось намоченное льняное полотно.

За шестьсот лет водяное колесо претерпело эволюцию от устройства, пригодного исключительно для размола зерна, до универсального двигателя, повсеместно используемого в различных отраслях промышленности.

В 1801 г. французский инженер Филипп Лебон запатентован первый двигатель внутреннего сгорания. В этом двигателе основным механизмом являлся кривошипный, а переключение между выпуском и впуском газов осуществлялось золотниковым клапаном, который приводился в движение при помощи эксцентрикового металлического кулачка. **Кулачок определяют как** механическое устройство, состоящее из эксцентрической насадки на вращающийся вал, форма которой рассчитана так, чтобы обеспечивать необходимое возвратно-поступательное линейное движение другой детали [4].

В течение всего XIX над усовершенствованием двигателя внутреннего сгорания работали инженеры Ж.Ж. Этьена Ленуар, Зигфрид Маркус, Джордж Брайтон, Николаус Отто, Готтлиб Даймлер, Карл Бенц. Немецкий инженер Николаус Отто в 1878 году получил патент на четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания с предварительным сжатием рабочей смеси (рис.2).

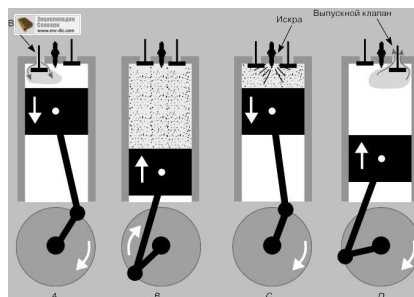


Рис. 2. Четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания.

Изобретение двигателя внутреннего сгорания вызвало необходимость выполнения тактов работы двигателя в точной последовательности, что ставило задачу газораспределения в цилиндре двигателя. В двухтактном двигателе внутреннего сгорания в работе кулачкового механизма осуществляют две фазы: подъем и опускание толкателя. В четырёхтактном двигателе внутреннего сгорания (рис. 3) в работе кулачкового механизма выделяют четыре фазы: подъем толкателя, выстой его в верхнем положении, опускание, выстой в нижнем положении [3].

Кулачковый механизм усовершенствуют, приспособляя к решению новых технических задач. Появляется многообразие схем кулачкового механизма. Кулачок уже лишь отдаленно напоминает своего многовекового предшественника.

Механизм определяют как трехзвенный механизм с высшей кинематической парой, входное звено которого называется кулачком, а выходное – толкателем. Появляется потребность в разработке общих научных методов исследования и проектирования механизмов. Эти методы способствовали созданию наиболее совершенных кулачковых механизмов, наилучшим образом выполняющих определенные для них задачи. Создаются графические и аналитические методы построения профиля, обеспечивающего практически любой закон движения толкателя (функции перемещения, скорости и ускорения во времени). Закон ускорения является основной характеристикой кулачкового механизма. Появляются методы расчета координат профиля кулачков, которые определяются кинематическими характеристиками толкателя [5].

В настоящее время в автомобильных двигателях они входят в состав газораспределительного механизма, обеспечивающего своевременное заполнение цилиндра горючей смесью и удаление продуктов сгорания [6] (рис. 3). Наиболее совершенным является двигатель ДОНС с двумя распределительными валами в головке блока цилиндров, один из которых сообщает движение впускным клапанам, а второй – выпускным. Эта схема позволяет значительно увеличить количество оборотов двигателя (до $9000 \frac{об}{мин}$), его мощность (100 – 130 л. с.). Применяется она в огромном количестве двигателей, установленных в гоночных автомобилях Mercedes-Benz W196, O.S.C.A. Barchetta и Mercedes-Benz 300 SLR, на мотоцикле Ducati.

Кулачковые механизмы стали одним из наиболее рациональных и надежных средств механизации и автоматизации в машиностроении. Они стали применяться не только для перемещения клапанов впуска и выпуска газа в двигателях внутреннего сгорания,

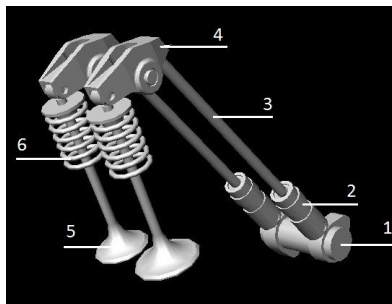


Рис. 3. Газораспределительный механизм

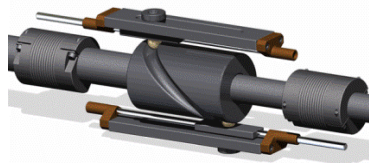


Рис. 4. Кулачковый механизм – пространственный

но и в станках для подачи заготовок, в конвейерах и транспортерах для управления дозаторами и выключателями, в механизмах с гидравлическим приводом для регулировки подачи жидкости, в насосах.

Все шире используются пространственные кулачковые механизмы (рис. 4). Они нашли применение в машинах легкой промышленности для обеспечения сложного движения взаимосвязанных деталей. Конструктивно такие механизмы содержат цилиндрический кулачок с профилем в виде паза, в который входит ролик толкателя [9].

В бурильной машине, выполняющей удары по буровому инструменту (патент РФ № 2362014, выдан 13.11.2007) (рис. 5) используется кулачковый механизм нового типа [8]. Бурильная машина включает корпус 1, двигатель 2, который приводит в движение ведущую шестерню 3, зубчатое колесо 4, толкатель-бойек 5, буровой инструмент 6, торцевой кулачок оригинальной формы 7 с тремя участками подъема толкателя-бойка и пружину 8. Кулачковый механизм работает следующим образом.

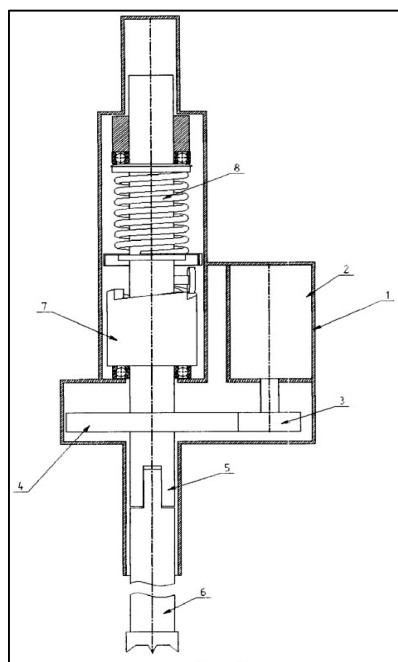


Рис. 5. Бурильная машина

– толкателем по буровому инструменту, что способствует повышению производительности буровой машины.

Заключение:

Исследованы конструкции кулачковых механизмов, разработанные период с XI по XX век.

Вращение от ведущей шестерни 3, передается на толкатель-бойек 5 посредством закрепленного на нем зубчатого колеса 4. Ролик, закрепленный на толкателе-бойке, начинает обегать профиль торцевого кулачка 7, при этом происходит сжатие пружины 8, которое различно в зависимости от участка кулачка. В верхней точке криволинейного профиля каждого участка кулачка происходит разрыв контакта между роликом и кулачком 7 и толкатель-бойек 5 наносит удар по буровому инструменту 6. Поскольку кулачок имеет три участка для подъема и три участка для опускания толкателя, за один оборот толкателя-бойка 5 выполняется нанесение трех ударов по буровому инструменту 6. Достоинством такого кулачкового механизма является обеспечение ударов бойком

– толкателем по буровому инструменту, что способствует повышению производительности буровой машины.

Применение новейших конструкций кулачковых механизмов позволяет увеличить мощность и скорость двигателей внутреннего сгорания, эффективность работы бурильных машин.

Литература

1. <http://sv-scena.ru/athenaeum/drugaya-istoriya-nauki-ot-aristotelya-donjyutona.i-006.jpg>.
2. <http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/SCIAM/WATER/WATER.HTM>.
3. <http://cte.net.ua/vse-ob-avto/ustroistvo-avtomobilya/dvigatel/gazoraspredelitelii-mehanizm/grm>.
4. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/2320/%D0%9A%D0%A3%D0%>
5. Фролов К.В., Попов С. А., Мусатов А. К. и др. Теория механизмов и машин. - М.: Высшая школа, 2001, с. 448.
6. <http://cte.net.ua/vse-ob-avto/ustroistvo-avtomobilya/dvigatel/gazoraspredelitelii-mehanizm/grm>
7. <http://vitj.ru/characteristic/gazRaspred>.
8. <http://www.freepatent.ru/patents/2362014>
9. http://pikabu.ru/story/prostranstvennokulachkovyiy_mekhanizm_2554377.

DESIGN IMPROVEMENT OF CAM MECHANISMS

A. TRAORE MATENIN

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

The article considers the main stages of development of Cam mechanisms and their application in various industries.

KEYWORDS: *cam, pusher.*



О ЛИНЕЙЧАТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А. А. ГРИШИНА, студент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В данной статье рассматриваются линейчатые винтовые поверхности, их формообразование, примеры и актуальность применения в современном мире.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *винтовые линейчатые поверхности, строительство, архитектура, оболочка, тонкостенные конструкции.*

Еще в давние времена Рене Декарт объяснял, что образование материи вообще и планет в частности обусловлено свойствами вихрей, состоящих из спиральных образований. В разные годы спиральями занимались

известные ученые различных отраслей наук, инженеры, изобретатели, писатели, любители естествознания. Во многих трудах спираль ассоциируется с развитием и основой космоса, со многими процессами в живой и неживой природе. Хорошо изучены архимедова, логарифмическая, гиперболическая, параболическая и другие спирали.

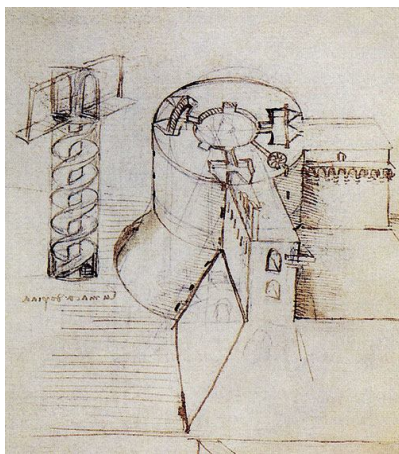


Рис.1

Архимед обратил внимание на геометрию линейчатых геликоидов, когда создал винт Архимеда. Позднее Леонардо да Винчи придумал эскиз винтовой лестницы. На рисунке 1 представлен эскиз крепостной башни. Слева от неё схема одной из важных деталей постройки — винтовой лестницы. Её конструкция напоминает знаменитый винт Архимеда, только ступенек не хватает. Поразительный замысел Леонардо-архитектора. Его лестница двойная: по одной её части можно подниматься на башню, а по другой — спускаться, не сталкиваясь и даже не видя друг друга. Траектории обеих частей лестницы — пересекающиеся винтовые линии (пространственные кривые, закручивающиеся вокруг вертикальной опоры — круглого столба в центре конструкции).

У каждой части лестницы есть свои вход и выход, а её моделью служит винтовая поверхность, так называемый геликоид. У настоящей лестницы вокруг столба веерообразно закручиваются ступеньки¹

В настоящее время винтовые поверхности имеют широкое применение при проектировании зданий, сооружений, дорожных магистралей и т.д.

Актуальность обусловлена востребованностью линейчатых винтовых поверхностей в современной архитектуре и технике, а также поиск новых форм винтовых линейчатых поверхностей, применимых для строительства, сочетающих в себе качества, такие как красота, надежность и технологичность.

Винтовые поверхности образуются при винтовом движении произвольной линии. Наибольшее применение в технике имеют линейчатые винтовые поверхности (геликоиды), образованные винтовым движением отрезка прямой [2] (Рис.2). Геликоиды получили широкое применение в строительстве благодаря своей экономичности и привнесению новых ар-

хитектурных форм в типовые строения общественно-хозяйственного назначения.

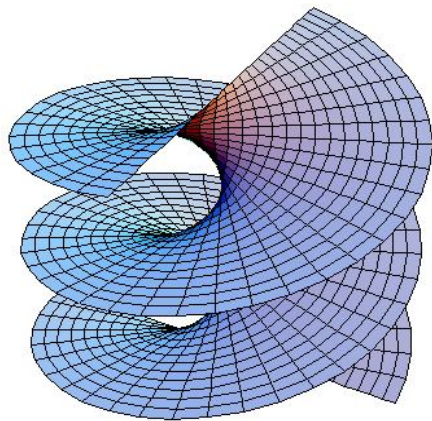


Рис.2



Рис.3

На сегодняшний день известны различные методы расчета геликоидальных оболочек, такие, как метод Л.И. Соломона (1953г.), метод конечных элементов (1996г.), асимптотический и полуасимптотический методы (1989г.) и др. [3]

Тонкостенные конструкции, к которым относятся геликоиды, являются наиболее экономичными с точки зрения расхода материалов. Оболочка способна выдержать самые разнообразные виды нагрузок, обеспечивает изоляцию от окружающей среды, легко обтекается потоком воздуха или жидкости, и при этом является наиболее выгодной в отношении массы. Исходя из функционального назначения, оболочки могут иметь самые различные формы, подвергаться силовым и температурным воздействиям и работать в агрессивных средах.

К известным сооружениям, содержащим винтовую поверхность можно отнести следующие сооружения.

Две башни Марина-сити в Чикаго (рис.3), имеющие открытые винтовые гаражи на нижних этажах. Круглые жилые башни диаметром приблизительно 105 футов выполнены из железобетонной стены с сердечником диаметром 35 футов. Толщина стены с сердечником варьируется от 30 дюймов у основания до 12 дюймов в верхней части. Башни опираются на три концентрические кольца свай, внутреннее кольцо поддерживает центральную часть, а два внешних кольца поддерживают колонны по периметру. Консультации по фундаментам предоставлял д-р Ральф Пек из Иллинойского технологического института, что говорит о серьезном подходе к возведению этого сооружения.

Знаменитая двойная винтовая лестница в Ватикане (рис.4) была спроектирована в 1932 году Джузеппе Момо и известна на весь мир.



Рис.4

Интересен винтовой мост Кавасу-Нанадару (рис.5). Перед японскими инженерами встала непростая задача, как на склоне горы построить мост, где линейный скат не возможен. Вопрос

был решен постройкой винтового моста Кавасу-Нанадару, также известного как японская двойная спираль. Высота моста составляет 45 метров, а диаметр спирали 80 метров. Расположен мост на шоссе 414 между Токио и полуостровом Ицу. Строительство закончилось в 1982 году, и с тех пор он стал известной достопримечательностью Японии. [4]



Рис.5

Учитывая мировую практику, можно смело сделать вывод, что винтовые поверхности особенно востребованы в современном мире. Имея широкую сферу применения от пандусов до сложных архитектурных сооружений, такие поверхности позволяют решать слож-

ные инженерные, экономические, эстетические и социальные задачи, что немаловажно в условиях современного мира.

Литература

1. *Гастев А.Л.* Леонардо да Винчи. - М., 1984.
2. http://studopedia.net/9_19208_vintovie-poverhnosti.html
3. *Рынковская М.И.* "Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор".
4. <http://cpega.com/7879-vintovoy-most-kvasu-nanadaru-7-foto.html>

ABOUT RULED SPIRAL SURFACE

A. GRISHINA, *Bachelor*

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

This article about ruled spiral surface, their formation, examples of application and relevance in today's world.

KEYWORDS: ruled spiral surface, construction, architecture, [capsule](#), thin-walled constructions



О ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОСНОВНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е.Н. ГУБИНА, *студент*

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

В статье представлен обзор наиболее распространенных циклических поверхностей, применяемых в строительстве. Рассмотрено формообразование поверхностей, основные квадратичные формы и приведены рисунки, выполненные в системе MathCAD.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: циклические поверхности, формообразование, круговая винтовая поверхность, циклическая поверхность вращения, трубчатая поверхность с произвольной линией центров, коэффициенты основных квадратичных форм.

Циклическая поверхность образуется движением окружности переменного или постоянного радиуса по некоторому закону в пространстве. Классификация циклических поверхностей достаточно широка, однако в строительстве в основном применяется только несколько видов. Возможно, это связано с тем, что точный аналитический расчет циклических оболочек стал доступен только с середины XX века.

Циклические поверхности подразделяются на несколько классов, каждый из которых имеет множество частных случаев. Ниже перечислены основные классы циклических поверхностей [1, 2].

Циклические поверхности вращения образуются вращением окружности, произвольно расположенной относительно оси вращения.

Нормальные циклические поверхности образуются движением окружности переменного или постоянного радиуса по произвольной направляющей.

Каналовые поверхности образуются семейством окружностей, являющихся линиями кривизны.

Циклические поверхности с окружностями в плоскостях пучка образуются окружностями постоянного или переменного радиуса, центры которых движутся по заданной кривой, а сами окружности лежат в плоскостях пучка.

Круговая винтовая поверхность с образующей окружностью получается при винтовом движении образующей окружности, произвольно расположенной относительно винтовой оси.

Окружность – основу циклической поверхности, можно задать определяющим вектором окружности $\mathbf{n}(u)$, начало которого будет в центре этой окружности, направление совпадет с направлением нормали к плоскости, в которой лежит окружность, а длина будет равна радиусу окружности [3].

Чтобы получить уравнение циклической поверхности необходимо:

Задать уравнение направляющей кривой $\mathbf{p}(u)$ – линии центров образующих окружностей: плоской или пространственной.

Задать функцию радиуса образующих окружностей $\mathbf{R}(u)$.

Определить положение плоскости образующей окружности, задаваемой вектором единичной нормали $\mathbf{n}(u)$.

Таким образом, векторное уравнение любой циклической поверхности можно записать [1, 2]:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v) = \mathbf{p}(u) + \mathbf{R}(u) \mathbf{e}(u, v),$$

где $\mathbf{r}(u, v)$ – радиус-вектор циклической поверхности,

$\mathbf{e}(u, v)$ – уравнение окружности единичного радиуса в плоскости с нормалью $\mathbf{n}(u)$: $\mathbf{e}(u, v) = \mathbf{e}_o(u) \cos v + \mathbf{g}_o(u) \sin v$,

$\mathbf{e}_o(u)$ – единичный вектор в плоскости с нормалью $\mathbf{n}(u)$, от которого ведется отсчет координаты v ($0 < v < 2\pi$);

$\mathbf{g}_o(u)$ – единичный вектор в плоскости с нормалью $\mathbf{n}(u)$, ортогональный вектору $\mathbf{e}_o(u)$.

Ниже будут рассмотрены наиболее распространенные в строительстве поверхности: циклические поверхности вращения, круговые винтовые поверхности и трубчатые поверхности с произвольной линией центров.

Циклические поверхности вращения образуются вращением произвольно расположенной окружности относительно оси вращения [2].

Векторное уравнение может быть представлено в виде:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v) = b\mathbf{h}(u) + a\mathbf{e}(u, v),$$

где $b\mathbf{h}(u)$ – векторное уравнение линии центров образующих окружностей:

$$b\mathbf{h}(u) = b(\mathbf{i} \cos u + \mathbf{j} \sin u),$$

b – радиус линии центров, a – радиус образующей окружности,

\mathbf{i}, \mathbf{j} – орты прямоугольной системы координат,

$$\mathbf{e}(u, v) = \mathbf{h}(\cos\theta \cos v - \sin\theta \sin\omega \sin v) + \mathbf{p}(\sin\theta \cos v + \cos\theta \sin\omega \sin v) + \mathbf{k}(\cos\omega \sin v),$$

ω – угол между плоскостью образующей окружности и осью вращения,

θ – угол между вектором $\mathbf{h}(u)$ и следом пересечения плоскости с образующей окружностью; \mathbf{p}, \mathbf{k} – единичные векторы.

Коэффициенты первой квадратичной формы поверхности [1]:

$$E = A^2 = b^2 + 2ab(\cos\theta \cos v - \sin\theta \sin\omega \sin v) + a^2(1 - \cos^2\omega \sin^2 v),$$

$$G = B^2 = b^2, \quad F = -ab(\sin\theta \sin v - \cos\theta \sin\omega \cos v) + a^2 \sin\omega.$$

Коэффициенты второй квадратичной формы поверхности:

$$L = [b(\sin\theta \cos v + \cos\theta \sin v)T_1 + (b \cos\theta + a \cos v)\cos \omega] / \mathfrak{B},$$

$$N = -a(b \cos\theta + a \cos v) \cos \omega / \mathfrak{B},$$

$$M = a[-(b \cos\theta + a \cos v)\sin \omega + b(\sin\theta \cos v + \cos\theta \sin v)\sin v]\cos \omega / \mathfrak{B},$$

где $T_1 = -(b \sin\theta + a(\cos \omega - 2 \sin \omega)\sin v)\cos \omega;$
 $\mathfrak{B}^2 = b^2(\sin\theta \cos v + \cos\theta \sin v)^2 + (b \cos\theta + a \cos v)^2 \cos^2 \omega.$

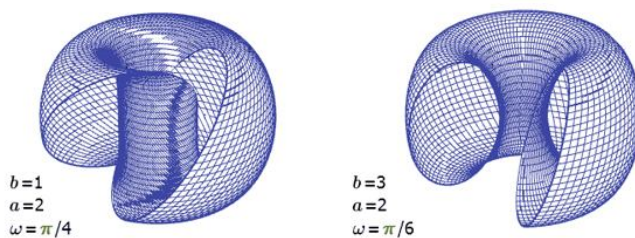


Рис. 1. Циклическая поверхность вращения при $\theta = 0$ [2],
 $0 \leq u \leq 1.5\pi$, $0 \leq v \leq 2\pi$ и различных параметрах b , ω . Слева $a > b$, справа $a < b$

Трубчатые поверхности являются частным случаем нормальных циклических поверхностей. Они образуются движением окружности постоянного радиуса вдоль произвольной направляющей кривой при этом плоскость образующей окружности должна оставаться перпендикулярной к направляющей.

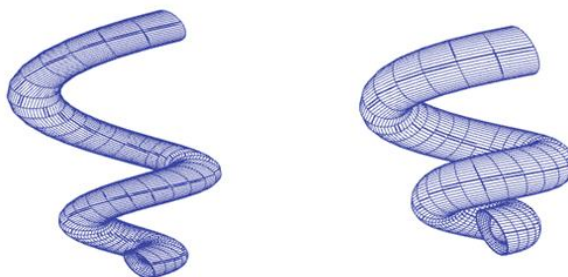


Рис. 2. Трубчатая спиральная поверхность [2] с линией центров в виде конической спирали при различных значениях угла λ между направляющей линией и осью: слева $\lambda = 4$, справа $\lambda = 2$.

Векторное уравнение трубчатой поверхности может быть представлено в виде [1, 2]:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v) = \boldsymbol{\rho}(u) + R\mathbf{e}(u, v),$$

где $\mathbf{r}(u, v)$ – радиус-вектор циклической поверхности;

$\boldsymbol{\rho}(u)$ – радиус-вектор линии центров образующих окружностей;

R – радиус образующей окружности, $R = \text{const}$;

$\mathbf{e}(u, v)$ – вектор-функция окружности единичного радиуса.

Коэффициенты первой квадратичной формы поверхности [1, 2]:
 $E = A^2 = s^2(1 - kR \cos(v + \theta))^2$, $F = 0$, $G = B^2 = R^2$,
 где θ – угол между вектором \mathbf{e}_0 и нормалью линии центров; k – кривизна линии центров; $s = |\rho \square|$.

Коэффициенты второй квадратичной формы данной поверхности:
 $L = -s^2 k(1 - kR \cos(v + \theta))\cos(v + \theta)$, $M = 0$, $N = R$.

Круговая винтовая поверхность является классом циклических поверхностей, а также входит в отдельный класс «Винтовые поверхности» [2]. Поверхность образуется винтовым движением образующей окружности с постоянным радиусом r относительно винтовой оси.

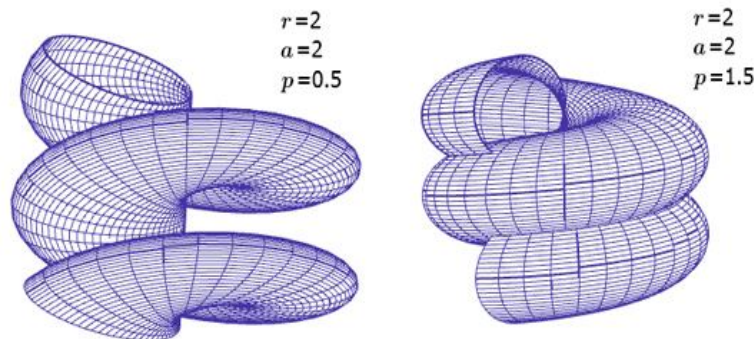


Рис.3. Круговая винтовая поверхность [2] при $a = r$, $0 \leq \vartheta \leq 4\pi$, $0 \leq v \leq 2\pi$ и различном параметре p

Векторная форма задания на примере трубчатой винтовой поверхности [2]:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\vartheta, v) = (a + r \cos \vartheta)\mathbf{e}(v) + r \sin \vartheta \sin \beta \mathbf{g}(v) + (pv - r \sin \vartheta \cos \beta)\mathbf{k},$$

где $\mathbf{e}(v)$, $\mathbf{g}(v)$ – единичные круговые вектор-функции;

ϑ – центральный угол образующей окружности ($0 \leq \vartheta \leq 2\pi$);

a – расстояние от центра образующей окружности до винтовой оси;

r – радиус образующей окружности; β – угол между бинормалью винтовой линии центров и плоскостью $z = 0$; p – параметр винтового движения.

Коэффициенты первой квадратичной формы поверхности [2]:

$$E = A^2 = r^2, F = r^2 \sin \beta, G = B^2 = r^2 \sin^2 \vartheta \sin^2 \beta + (a + r \cos \vartheta)^2 + p^2,$$

Коэффициенты второй квадратичной формы поверхности:

$$L = -r, M = -\frac{rp}{\sqrt{a^2 + p^2}}, N = -\frac{rp^2 + a \cos \vartheta (a^2 + p^2 + ar \cos \vartheta)}{(a^2 + p^2)}$$

Рассмотренные выше поверхности широко используются в строительстве и архитектуре в качестве элементов или самостоятельных конструкций.

Литература

1. *Иванов В.Н.* Теория поверхностей. Циклические поверхности (Сайт РУДН, Инженерный факультет, Иванов В.Н).
2. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 560 с.
3. *Котов И.И.* Об одном методе исследования циклических поверхностей. Труды ВЗЭИ. – Вып.13.- М.:1958. – С. 36-42.

ABOUT THE FORMATION OF MOST COMMON CYCLIC SURFACES

*E.N. GUBINA, student
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

This review article is devoted to an analysis the most common cyclic surfaces, applied in construction. The article contains the description of surfaces, basic fundamental forms and computer graphics in MathCAD.

KEYWORDS: cyclic surfaces, cyclic surfaces of rotation, tubular surfaces with random line of centers, cyclic helical surfaces, first fundamental form, second fundamental form, computer graphics.



ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМ

*Т.С. ИМОМНАЗАРОВ, студент
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

Целью программы было устранение технических препятствий в торговле и гармонизации технических спецификаций. Еврокоды касаются только проектирования зданий и сооружений, являются главным документом в Европе и описывают принципы и требования к безопасности, эксплуатации и долговечности конструкции. Они предназначены для прямого использования в Европейских странах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Европейские нормы, проектирование стальных конструкций, долговечности, устойчивость.

Евро коды - это комплекс норм проектирования строительных конструкций.

В 1975 году комиссия Европейских сообществ приняла решения о программе норм в области строительства на основе статьи 95 Римского договора¹. В рамках этой программы Европейская комиссия приняла инициативу по созданию технических правил для проектирование конструкций в строительстве.

В течение 15 лет комиссия, с помощью руководящего комитета, содержащих представителей стран-членов ЕС², курировала разработку программы Еврокодов, что привело к публикации первого поколения набора европейских норм в 1980-х годах.

В 1989 году специальное соглашение между CEN³ и Европейской комиссией был передан и подготовлен для публикации, тем самым обеспечивающим Еврокоды, как будущий статус европейского стандарта.

Инновационные европейские нормы наиболее точно позволяют рассчитывать предельные нагрузки на конструкцию, которые возникают в чрезвычайных ситуациях - таких, как землетрясения, ураганы, сход лавин и т.д. В процессе разработки последней версии Еврокодов, были проанализированы и учтены причины многочисленных катастроф.

Программа Еврокодов:

EN 1990 списков следующие Европейских стандартов, как правило, состоящий из нескольких частей, которые находятся в разных стадиях развития в настоящее время:

EN 1990 Еврокод: Основы проектирования конструкций.

EN 1991 Еврокод 1: Воздействия на конструкции.

EN 1992 Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций.

EN 1993 Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций.

EN 1994 Еврокод 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций.

EN 1995 Еврокод 5: Проектирование деревянных конструкций.

EN 1996 Еврокод 6: Проектирование каменных конструкций.

EN 1997 Еврокод 7: Инженерно-геологические проектирование.

EN 1998 Еврокод 8: Проектирование зданий для сейсмостойкости.

EN 1999 Еврокод 9: Проектирование алюминиевых конструкций.

Под руководством и координацией технического комитета CEN³, каждая из структур Еврокодов производится отдельными подкомитетами стран участников ЕС².

Национальные стандарты реализации Еврокодов осуществляют комитеты по стандартизации стран участников ЕС², а именно: Институт Бри-

танских стандартов (BSI), Ассоциация стандартов Франции (AFNOR), Немецкий институт стандартизации (DIN), Итальянский национальный институт стандартизации (UNI). На рисунке 1 представлен прогресс программы Еврокод. На рисунке 1.1 представлена связь между Еврокодами.

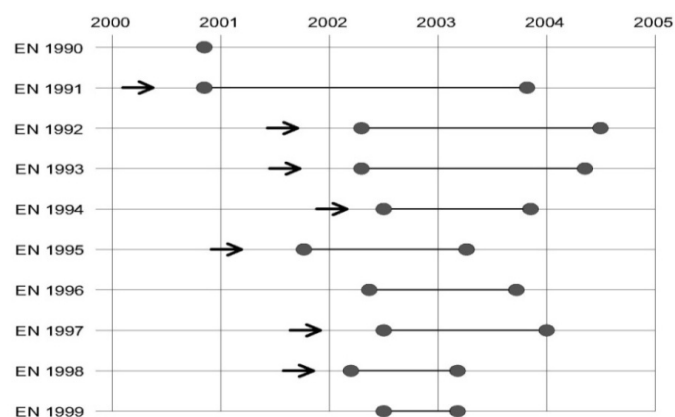


Рис.1. Прогресс программы Еврокод

Предполагаемые преимущества Еврокодов включают следующее:

- ✓ Обеспечить общее понимание относительно проектирования структуры между владельцами, пользователями, проектировщиками, подрядчиками и производителями строительной продукции.
- ✓ Обеспечить общие критерии и методы проектирования для выполнения установленных требований к механической устойчивости, стабильности и огнестойкости, включающие аспекты долговечности и экономии.
- ✓ Облегчить маркетинг и использование строительных конструкций и комплектов, в государствах-членах ЕС².
- ✓ Облегчить сбыт и использование материалов, свойства которых входят в проектные расчеты, в странах-членах ЕС².
- ✓ Является общей основой для исследований и разработок. Еврокоды предлагают возможность общеевропейского исследования для своих будущих изданий, что приводит к существенной экономии в исследованиях.
- ✓ Позволяют подготовить общие пособия и программные обеспечения для проектирования.
- ✓ Приносят существенную пользу европейским строительным фирмам, подрядчикам, разработчикам и производителям продукции по всему миру для их деятельности, и повышения конкурентоспособности.

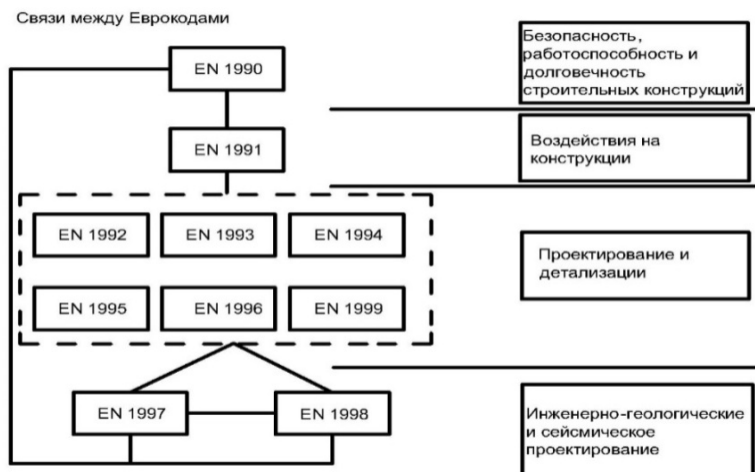


Рис. 1.1 . Связи между Еврокодами

Наряду с преимуществами существуют вопросы, которые не нашли отражение в Еврокодах:

- ✓ Моделирование материалов, не охваченные в Еврокодах (например, новые и инновационные материалы, стекло), а также их структурное поведение.

- ✓ Оценка численных значений элементов надежности (например, частные коэффициенты и комбинированные факторы, не охваченных EN⁴ 1990 для EN* 1999).

Компоновка EN⁴ 1990, да и вообще всех Еврокодов, должны учитывать обязанности государств-членов ЕС², в реализации каждой структуры Еврокодов. Где уровень безопасности промышленного и гражданского строительства и их частей, включая аспекты долговечности и экономии, остаются в компетенции каждого государства-члена ЕС², даже после реализации Еврокодов.

Специальное соглашение между CEN³, и Европейской комиссией говорит о том, что Еврокоды предназначены для использования в качестве *справочных документов*, признанных властями стран-членов ЕС², для следующих целей:

- ✓ Как средство соответствия промышленного и гражданского строительства с основным требованиями, изложенных в Директиве Совета, особенно с ER⁵ 1 (механическая прочность и устойчивость) и ER⁵ 2 (безопасность в случае пожара). Использование EN⁴ Еврокодами в технических условиях на продукцию описан в документе Комиссии по применению и использованию Еврокодов.

- ✓ В качестве основы для утверждения договоров на выполнение

строительно-монтажных работ и связанных с ними инженерных услуг в области общественной деятельности.

✓ В качестве основы для составления гармонизированных технических условий для строительных материалов.

Преимущество Еврокодов настолько очевидно, что их нельзя не замечать, но никто не говорит, что нужно забыть весь предыдущий опыт: российские системы нормирования строительной отрасли одна из лучших в мире. Она учитывает все уникальные географические особенности нашей страны..

Источник: Министерство регионального развития РФ

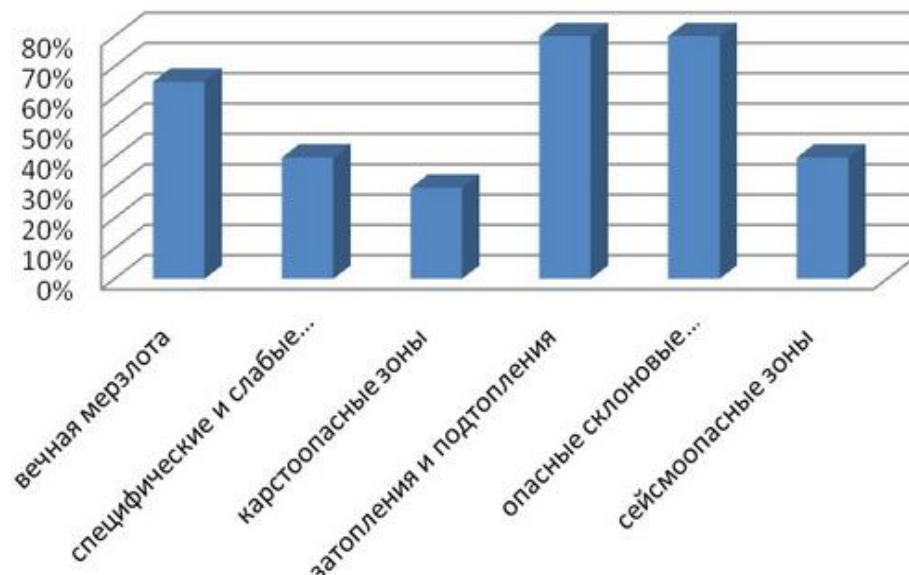


Рис. 1.3. Национальные особенности территории РФ, % от общей территории

Мы должны понимать, что СНиПы и ГОСТы писались не к требованиям современности, проблема в том, что российские строительные нормы и правила распространяются только на сооружения высотой до 70 м. За 20 - 30 лет (многие нормативы уже прожили именно такой срок) в строительстве кардинальным образом многое поменялось: материалы, технологии, строки и уровни безопасности. Мы не должны брать и копировать европейскую систему, у нашей системы есть огромный плюс

Во-первых, вся строительная отрасль России ориентирована на применение отечественных норм, поскольку они учитывают все национальные

особенности нашей страны (см. рис.1.3). Во-вторых, заложенные в Еврокоды принципы проектирования, классификации материалов и сред, методы расчетов и применяемые при этом коэффициенты — принципиально отличаются от российской системы технического нормирования в строительстве.

Литература

1. Designers Guide to EN 1990. Eurocode: Basis of structural design. H. Gulvanessian, J-A Calgaro and M Holicky.

RESEARCH BUILDING EUROPEAN STANDARDS

T.S. IMOMNAZAROV

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

The aim of the program was the elimination of technical obstacles to trade and the harmonization of technical specifications. Eurocodes relate only to the design of buildings and structures are the main instrument in Europe and describe the principles and requirements for safety, operation and durability. They are intended for direct use in European countries.

KEYWORDS: European standards, design of steel structures, durability, stability.

¹Римский договор — соглашение, подписанное 25 марта 1957 г. ФРГ, Францией, Италией, Бельгией, Нидерландами и Люксембургом на Капитолийском холме в Риме о создании Европейского Экономического Сообщества.

² ЕС – Европейский союз

³ CNE – Европейский комитет по стандартизации

⁴ EN – Европейские нормы.

⁵ ER – Существующие требования.

⁶ СНИП - Строительные нормы и правила.

⁷ ГОСТ – Государственный стандарт.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И НЕПРЕРЫВНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

АКИЛИ МИНКОВАМЕ ДЖОА МЕРСЬЯ, студент, (Габон)
Российский университет дружбы народов

В статье исследуется применение топографических и непрерывно-топографических поверхностей в маркшейдерском деле.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аналитические поверхности, поверхности вращения, топографические поверхности.

Естественные топографические поверхности невозможно описать ни одним из известных математике аналитических методов. Однако необходимость хоть как то их охарактеризовать возникает часто. Например, для вычисления соответствующих объемов породы, площадей поверхности или аппроксимации реального рельефа известными поверхностями, например, развертывающимися. Кроме того возводят множество искусственных земляных сооружений, которые также необходимо математически описать и запроектировать.

Рассмотрим, как из этого положения выходят в настоящее время.

Поверхности в геометрии рассматриваются либо как двумерные множества точек, либо как одномерные множества линий (рис.1).

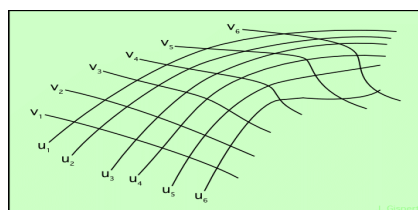


Рис.1

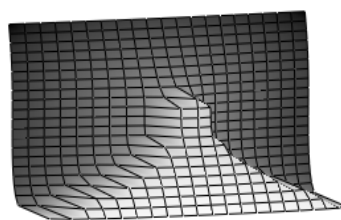


Рис.2

Этот подход предполагает формирование поверхности в результате перемещения одной кривой U (образующей) другой кривой V (направляющей) с изменениями формы и размеров одной из кривых. В общем случае понятия направляющей и образующей чисто условные. Перемещение кривой V по кривой U сформирует ту же самую поверхность. Наложение условий на форму кривых и условия перемещения позволяет формировать практически любые поверхности.

Топографическими поверхностями называются поверхности, заданные дискретным множеством их горизонталей. Такое задание топографической поверхности применяется главным образом в горном и строительном деле, в топографии [1].

Непрерывно-топографическая поверхность – это топографическая поверхность, задаваемая непрерывным множеством *линий уровня* (рис.2). Непрерывно - топографические поверхности применяются в основном в самолето- и кораблестроении. В этих случаях поверхность конструируется тремя семействами линий: 1) сечения горизонтальными плоскостями, 2) сечения фронтальными поверхностями и 3) сечения профильными плоскостями. Существуют понятия: *поверхности одной серии* – непрерывно-топографические поверхности, образованные распределением одного и того же семейства линий уровня и *поверхности разных серий* – непрерывно - топографические поверхности, образованные распределением разных семейств линий уровня [2].

Поверхности вращения можно рассматривать как непрерывно-топографические поверхности, исходным семейством линий которых является множество концентрических окружностей. *Соосные поверхности вращения* являются поверхностями одной серии, так как если соосные поверхности вращения пересекаются, то они пересекаются по параллелям. К непрерывно-топографическим поверхностям можно относить алгебраические поверхности, заданные в явной форме $z = z(x,y)$, поверхности параллельного переноса, циклические поверхности с плоскостью параллелизма и поверхности Каталана.

Известные геометрические свойства поверхности одинакового ската позволяют использовать ее для аппроксимации топографической поверхности. А.Г. Варварица предлагает для вычисления среднего угла ската местности на данном участке применять формулу $\alpha = Lh/(0,175s)$, где L – длина всех имеющихся на данном участке горизонталей, h – высота сечения рельефа, м; s – площадь участка, га.

В автодорожном строительстве линейчатые поверхности находят применение в качестве геометрических моделей откосов насыпи при подъеме и закруглении дороги. Эти поверхности могут проектироваться как поверхности одинакового ската. Приведем два конкретных примера, имеющих место в практике железнодорожного строительства: 1) направляющей кривой поверхности одинакового ската является цилиндрическая винтовая линия; 2) направляющая кривая есть пространственная кривая с постоянным уклоном по отношению к горизонтальной плоскости, в плане представляющая собой лемнискату. За направляющую кривую принималась бровка дорожного полотна.

Одним из эффективных средств борьбы с водной эрозией почв является сооружение противоэрозионных валов на склонах. Известные геометрические свойства поверхности одинакового ската позволяют использовать линейчатые поверхности для аппроксимации этих топографических поверхностей [3,4].

В горном деле в последнее большое значение имеет блочное геолого-технологическое моделирование.

Концепция блочной модели заключается в том, что скальный массив можно представить в виде 3-мерной сетки мелких параллелепипедов (блоков) с размерами от нескольких метров до нескольких десятков метров. Каждый блок при этом характеризует пространственное распределение инженерно-геологических элементов массива - однородных или квазиоднородных по своим физическим свойствам. На базе экспериментальных результатов геолого-технологического картирования, на базе исследования малообъемных технологических проб, которое проводится на стадии детальной разведки месторождения, с помощью специализированных программных комплексов и использования методов построения аналитических поверхностей можно смоделировать сложные геометрические формы скальных образований в виде суммы объектов простой геометрии. Такая модель позволяет оптимизировать процесс добычи (рис.3).

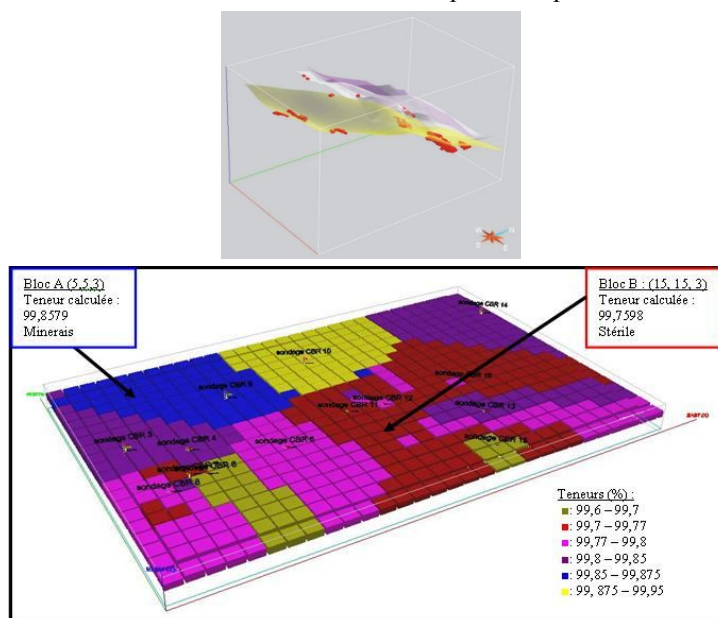


Рис.3.

Имеются компьютерные программы «DEVELOPABLE-MESH» и «UNFOLD program», с помощью которых по отдельным разрозненным числовым отметкам строятся разворачивающиеся поверхности, аппроксимирующие геологические структуры с заданной степенью точности. Эти компьютерные методика были применены в реальных условиях (Red Mountain area in the Ventura basin). Поиск реальных топографических поверхностей заданных аналитически показал, что на данный момент изучены следующие поверхности: топографическая поверхность с заданными

эллиптическими сечениями, непрерывно-топографическая поверхность Кассини, непрерывно-топографическая поверхность с распределяющим эллипсом и "Peninsula Surface". Остальные известные поверхности точнее отнести к аэродинамическим поверхностям [1].

НЕПРЕРЫВНО-ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ КАССИНИ

Непрерывно-топографическая поверхность Кассини содержит в качестве линий уровня овалы Кассини

$(x^2 + y^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2) = a^4 - c^4$, где a – параметр изменения формы овалов; c – параметр изменения оси непрерывно - топографической поверхности.

Овалы Кассини представляют собой геометрическое место точек, для которых произведение расстояний до точек $(-c, 0)$ и $(c, 0)$ равно a^2 . При $c\sqrt{2} < a$ овал Кассини представляет собой овальную линию, при $c < a < c\sqrt{2}$ – кривую с «талией». При $c > a$ будут получаться пара замкнутых овалов с центрами в точках $(-c, 0)$ и $(c, 0)$. Если при постоянном значении a менять параметр c , то будет получаться однопараметрическое семейство овалов Кассини. Распределяя это семейство в пространстве по произвольной направляющей линии, можно получать поверхности различной формы. В англоязычной литературе поверхностями Кассини называют непрерывно- топографические поверхности, заданные неявным уравнением $(x^2 - a^2)^2 + 2y^2(x^2 + a^2) + y^4 = z^4$. Эта поверхность симметрична относительно всех трех координатных плоскостей. Две полости этой поверхности касаются друг друга в точках $x = \pm a; y = z = 0$.

Формы задания непрерывно-топографической поверхности Кассини

1) Неявная форма задания параболоида вращения, геометрическая модель: $(x^2 + y^2)^2 - 2f_1^2(z)(x^2 - y^2) = a^4 - f_1^4(z)$, где $c = f_1(z)$ – функция, описывающая форму оси поверхности.

2) Параметрическая форма задания (рис. 4):

$$x = x(u, z) = r \cos u, \quad y = y(u, z) = r \sin u, \quad z = z, \text{ где}$$

$$r = r(u, z) = \sqrt{c^2 \cos 2u \pm \sqrt{a^4 - c^4 \sin^2 2u}},$$

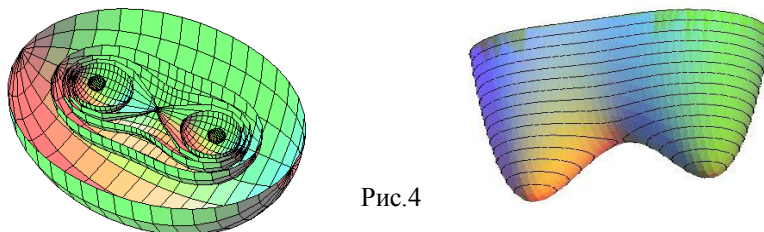


Рис.4

ПАРАБОЛОИД ВРАЩЕНИЯ

Параболоид вращения образовывается вращением параболы $x^2=2pz$ вокруг оси z . Параболическую поверхность можно также получить движением подвижной параболы $y^2=2pz$ (рис.5).

При этом необходимо чтобы вершина подвижной параболы скользила по неподвижной, а плоскость и ось подвижной параболы оставались параллельными. Обе параболы должны быть обращены вогнутостью одну в одну сторону.

Параболоид вращения является поверхностью, полученная вращением параболы вокруг своей оси [1].

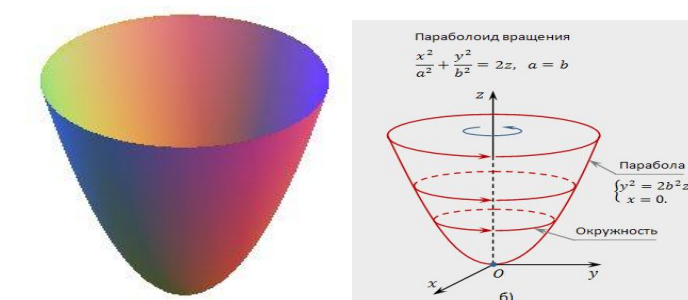


Рис.5

Литература

1. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей // - М. : Книжный дом "ЛИБЕРКОМ", 2010,-560 с.
2. Кириллов С.В. О конструировании непрерывно-топографических поверхностей со сложными сечениями// Кибернетика графики и прикладная геометрия поверхностей. – М.: МАИ, 1972. – Том IX. – Вып. 243. – С. 118-124 (библ.: 3 назв.)
3. Математическая энциклопедия (в 5-и томах), Москва, «Советская Энциклопедия», 1982, т.2Д-Коо, 759 стр.
4. Маркушевич А. И. Замечательные кривые. Популярные лекции по математике, выпуск 4, Гостехиздат 1952 г., 32 стр.

MATHEMATICAL MODELING OF TOPOGRAPHIC AND CONTINUOUSLY-TOPOGRAPHIC SURFACES

JOAN AKILI, *Gabon*

The paper investigates application of topographic and continuously-topographic surfaces in mine surveying practice.

KEYWORDS: *analytic surfaces, surfaces of revolution, s topography surfaces, surface modeling .*



PARAMETRIC 3D CAD SOFTWARE FOR THE DEVELOPMENT HYDRAULIC CONSTRUCTION PROJECT

Л.Ф. МОРЕНО, студент, А.С. БЕСТУЖЕВА, доцент, к.т.н.
МГСУ, Ярославское ш. 26, г. Москва, Россия

For the development a hydraulic construction project, we can use a drafting CAD program to draw all view, section and annotation, we can also find analysis tools and measures a little more complex, to obtain surface properties, like area, perimeter and center of gravity, however the parametric 3D CAD software have more advanced tools in the analysis of surface for its ability to handle data differently, more according to the type of calculations that must be made on the project.

In Parametric 3D CAD software, the design process is usually incremental. Designers may specify points, curves, and surfaces, and stitch them together to define electronic representations of the boundary of the object. Alternatively, they may select models of simple shapes, such as blocks or cylinders, specify their dimensions, position, and orientation, and combine them using union, intersection, or difference operators. The resulting representation is an unambiguous, complete, and detailed digital approximation of the geometry of an object or of an assembly of objects.[1]

A solid modeling system, often called a solid modeler, is a computer program that provides facilities for storing and manipulating data structures that represent the geometry of individual objects or assemblies.[1]

All these data geometry, can be upgraded later with changes to the model, and use them as new variables in the calculations without additional calculations, this is very useful in complex geometries, which needs to be adjusted for optimum result.

Also, the end result of the design has much more visual information than two-dimensional drawing. Interactive three-dimensional (3D) graphic supports the design activities by providing designers with: easy to understand images of their design, efficient facilities for graphically selecting or editing features of the part being designed, and immediate feedback, which helps them perform and check each design step.[1]

KEYWORDS: parametric 3d cad software, hydraulic construction, manipulating data structures, data geometry, solid modeler, analysis of surface.

Design decisions related to the restrictions imposed construct, through analytical formulas (strength of materials), recommended measures (СниП) and

standard measures. Managing all this information, lets form an idea of final model, but sufficiently adaptable to changes.

On the diagram of the construction process (fig. 1), can see the phases is process where software is involved

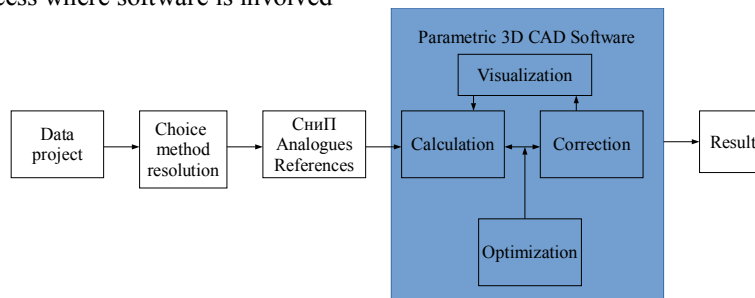


Fig. 1.

To applying the formula eccentric compression (1) is needed the region properties: area and centroid (center of gravity) with respect to a particular point in the structure, so the forces and moments are obtained according to formula:

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

$\sum P$ — Sum of forces, the areas is obtained from region properties extracted from the diagrams drawing in the sketch object.

$\sum M$ — Sum of moments respect to 0 point, the centroid is obtained from region properties.

A — Base area, W — Moment of inertia

The task ensure that all restriction must retain the location of the point 0 in the profile, if it is located in the center of the base, the change made adjust the centroid and optimize the moment with respect to point 0, when the relation between σ_{\max} and σ_{\min} is not the appropriate or optimal, can increase or lessen the base, change the radius R and move the spillway.

The outline spillway profile is based on the known coordinates of the Krieger-Ofitserova for pressure H corresponding to the ground settlement case; this is, as from НИУ. Below the surface of the dam spillway is blended with a horizontal mounting surface of the downstream cylindrical surface with radius R.[2]

The parametric programs accept the insertion of coordinates from external tables in different formats, then is possible insert the coordinates to an accuracy of tree decimal, for joining the coordinates and obtain a curvilinear profile, can be used a spline curves, the result is very accurate, but this type of curves pro-

ducing a problem when need to create a tangent circle, the solution is determine the approximate location of the tangent, between the curve and the circle of radius R, and replace the segment with a line, whose ends are the coordinates of that segment, this allow applying the tangent constraint. With the restriction applied, the profile is completed by an arc section, when the continuity is achieved between geometries; the program can recognize the profile, if not so, cannot obtain a closed surface and the program cannot get the data construction. This method has been the best solution to solve to apply constraint between curves.

The modeling module uses the more general operations in this type of program, extrusion, mainly because it is an easy operation combined with the sketches to remove or add or generate figures to the model, modeling only generated when the geometry is valid, means a closed surface (Fig. 2), when the geometry is complex, determine the region to implement the extrusion operations is complicated, so we can avoid creating complex regions to add details later adding new sketches and they implement new operations extrusion to add or remove, modeling operations are also parametric, can be determined by a function taking dimensions from sketches or directly adding direct dimensions, and the sketch is also acting on the model, varying the geometry to vary the parameter, at this point can often occur not valid operations, this can be solved to determine in the behavior of the geometry, apply the correct constraints avoiding geometries that can disappear when changing settings sketch or simply removing them altogether and creating new, can be concluded that it is preferable not to create complex geometries to avoid losing a lot of information modeling to eliminate some of the details.

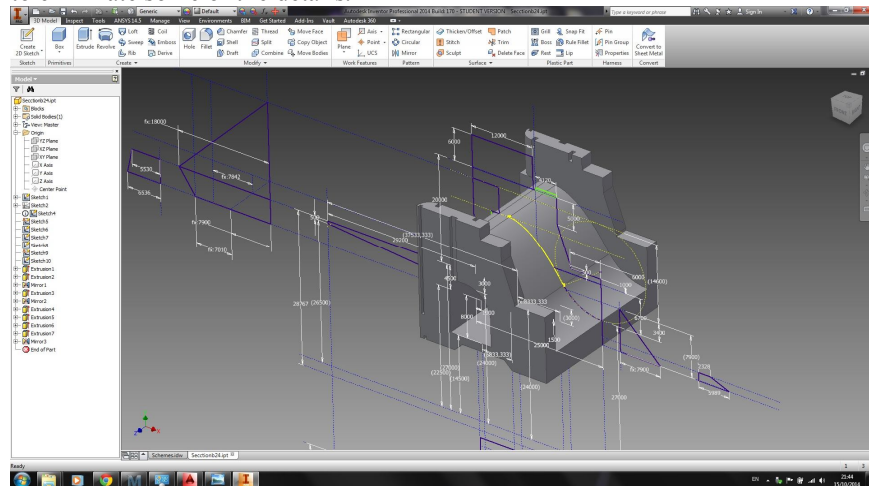


Fig. 2. Diagram and solid resulting.

For the Pier structure, the method construction is addition details on main base extrusion geometry, is started with simple geometry structure, the profile, which is restricted to length base, but slot details cannot obtain directly, these details are generated through extrude operations.

For assemblies, can use the nesting assemblies, this method to create small units of assembled parts, with a small number of constraints, and easier to solves the problem of overlapping parts, this error occurred when parts is modified, and his geometry loses the restriction information, this method significantly reduces this problem.

The drawing module allows you to configure views and sections, and also overlay drafting, however, as this oriented mechanical design, visualization of structures lacks dedicated tools, and the only solution is to use an external program of drafting, but losing the ability to upgrade.

Conclusions

1. The module design allows for the necessities diagrams for analysis provide data for calculations and modeling.
2. Parameters adjust the model as many times as necessary, along the optimization from result of calculations.
3. Although it is not possible a full automatization, because the program is optimized for mechanical design.
4. The methods developed to complete the design, can deliver results in high complexity in a short time.

Références

1. *Jarek R. Rossignac, Aristides A. G. Requicha, Solid Modeling.* GUV Center, College of Computing, Georgia Institute of Technology, Atlanta; Computer Science Department University of Southern California at Los Angeles. IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 12 Issue 5, September 1992 Page 31-44

2. *Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малаханов В.В., Бестужева А.С., Саинов М.П., Солдатов П.В., Тольстиков В.В.,* Гидротехнические сооружения. Часть 1. Учебник для вузов. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.

3. <http://help.solidworks.com/>

4. <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2014/ENU/>



CONCEPTION ET ANALYSE STRUCTURELLE D'UNE NOUVELLE FORME ARCHITECTURALE (DIAMOND)

DENIS SIMO, Etudiant (République du Cameroun)

Université Russe de l'Amitié des Peuples (Russie). sidenconcept@gmail.com

Résumé :

La problématique du lotissement est essentielle en matière de développement durable à travers la planète.

Les projets du future auront de plus en plus de formes architecturales inhabituelles telles que : coquilles, cylindriques, cubiques, etc.

Le but de cette conception (stabilité et section des éléments) sera d'étudier la nouvelle forme de construction avec une structure assée simple et une forme architecturale agréable à vue d'oeil compatible avec plusieurs type de matériaux et donnant des facilité de mise en oeuvre, portant le non de code "DIAMOND"

MOTS CLES: structure, lamellés collés, architecture, isolation, urbanisme.

Qu'est ce qu'un Diamond?

Comme l'indique son nom c'est un ouvrage avec une forme très proche de celle d'un diamant poli, et comme indiqué plus haut simple et agreable à vue d'oeil.

I. Oú pouvons nous utiliser un Diamond?

Cette nouvelle forme peut être utiliser dans tout type de construction à savoir les constructions à usage d'habitation (villa unifamiliale)et a des constructions à usage public(complexe sportif, centre de santé...)

II. Quelques exemples d'utilisations de Diamond dans mes futures projets

I. Villa unifamilliale

Ici j'ai entrecroiser deux Diamonds qui forment l'essentiel de la villa ils servent en même temps de toiture et de mur extérieurs, nous constatons que dessus nous pouvons très facilement y accrocher des panneaux solaires, et y insérer des vitres(baies vitrées) donc nous sortons des maisons traditionnelles constituées de murs et d'une toiture. Fig1. Fig. 2.

II. Immeuble d'habitation

Ici les Diamonds forment la partie inférieure de monimmeuble où seront disposes les bureaux, les salles d'expositions etc. et servent en même temps de toiture et de murs extérieurs dans lesquels nous inserrerons les planchers et des parois vitrés sur les cotés lateraux ouverts, et au dessus nous pouvons très facilement y accrocher des panneaux solaires,et créer des ceils ouverts(baies vitrées pour toiture) et les parois exterieures serviront d'excellentes surface

pour fixation des tableaux publicitaires ou encore écrans geants pour projection.
Fig. 3. Fig. 4.



Fig. 1



Fig. 2



Fig.3



Fig. 4



Fig. 5



Fig.6

Maternité

Ici le Diamond forme la partie centrale du bâtiment car il uni trois bracelets symbolisants les membres d'une famille(père mere et enfant) et joue le même role que les précédents cités plus haut. Fig. 5. Fig.6



Fig7

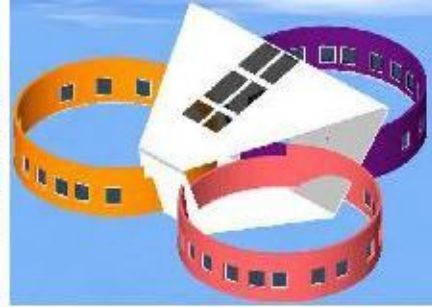


Fig. 8

I. Ecole

Ici les Diamonds sont utilisés pour recouvrir de très grandes surfaces et procurés aux occupants le sentiment d'être en même temps dans la nature de part les grandes baies vitrées qui traversent le long des diamonds, ils joueront également les rôles cités plus haut. Fig.7 . Fig. 8



Fig. 9

II. Centre d'express massage dans un park public

Agréable à vue d'oeil pratique et donnant l'impression de se retrouver dans la nature grace a des large baies vitrées. Fig. 9.

III . Avantages et inconvenients

• Avantages

- Capacité d'utilisation en grande portée
- Capacité d'utilisation de plusieurs matériaux pour la réalisation
- Capacité d'utilisation de plusieurs matériaux à la fois.
- Esthétique, pratique.
- Facilité d'adaptation et de fixation des matériaux d'isolation.
- Excellente technologie du future.
- Réduction du coût de la construction(villa)
- Etc.

- **Inconvénients**

- Attention particulière Durant la conception
- Main d'oeuvre hautement qualifiée.(lamellés collés en grandes et moyennes portées)
- Cout de réalisation élève(grande portée)
- Etc.

III. **Matériaux**

Les matériaux de réalisations peuvent être très variés, cela dépend de la zone et du pays où on se trouve, mais les probables et plus pratiques sont:

- Le bois(lamellés collés)
- Le métal
- L'aluminium

NB: la structure peut être à base du mélange des différents matériaux cités plus haut donc à savoir Metal+bois, ou bien Aluminium+bois

CONCLUSION

Soucieux de l'intérêt général dans le futur, nous recherchons sans cesse des solutions pour l'habitat de demain afin de mieux respecter notre environnement et de réaliser des ouvrages et maison à des cout (prix) raisonnable et accessible à tous, c'est dans cette optique que je pousse mes recherches sans cesse, en m'appuyant sur mes prédécesseurs et en restant dans la logique des choses.

Références

1. CECOBOIS.(répertoire du bois, outil de calcul, les indispensables)
2. *CODE NATIONALE DU BATIMENT 2005 (CNB)* Code de Construction du Québec-chapitre 1-Batiment/division A, B, C.
3. <http://hitech.newsru.com/article/24mar2010/chudo>.
4. ISOVER MULTICONFORT HOUSE catalogue des produits

Résumé :

The issue of the subdivision is essential for sustainable development across the globe. Future projects will have increasingly unusual architectural forms such as: shells, cylindrical, cubic, etc. The purpose of this design (stability and section of elements) will study new forms of constructions with a simple, an aesthetic form that is compatible with several types of materials, and providing facilities for implementation, with the code name "DIAMOND"

KEYWORDS: structure, glued laminated, architecture, insulation, urbanism.



СОДЕРЖАНИЕ

Секция I

МАСТЕР-КЛАССЫ ИЗВЕСТНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПРОЧНОСТИ, ПОЛЗУЧЕСТИ И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Léopold Degbegnon. Problematique du lotissement au benin: impact du coefficient de dtion.....	4
Агапов В.П. Новый подход к моделированию стержней при расчете конструкций на прочность методом конечных элементов.....	16
Якупов Н.М., Якупов С.Н. Механика «лечения» тонкостенных конструкций.....	21
Нуримбетов А.У. Напряженно-деформированное состояние слоистых композиционных стержней и лопаток при кручении	39
Dragović M., Knežević D., Čučaković A., Srećković M., Shambina S. Removal of the false targets in the issues of spatial triangulation by projective geometry mthods.....	49
Баженов В.А., Кривенко О.П. Конечно-элементное моделирование процессов нелинейного деформирования и потери устойчивости упругих неоднородных тонкостенных конструкций при действии термосиловых нагрузок	55
Зверяев Е.М. Итерационные методы в задачах механики сплошных сред	65
Peter Jan Pahl. Technische Universität Berlin. On the co-rotational beam element for stability analysis of plane frames with large displacements.....	81

Секция II

ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ В ОБЛАСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

Govind Prasad Lamichhane. Use of thin shell for earthquake resistant design.....	90
János Katona, Shambina S.L. Пространственная система из двух оболочек.....	94
Грязнова Г.П., Шамбина С.Л. Применение композитных материалов для усиления и защиты инженерных конструкций	99

Фам Ань Туан , Нгуен Тхань Зьонг. Исследование прогиба пьезокерамической балки, примененной в вибрационном гироскопе.....	103
Рынкoвская М.И. Исследование геометрии и прочности прямых геликоидальных оболочек.....	107
Климов Е.А. Исследования напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балочных конструкций с учетом сцепления внешнего листового армирования с бетоном.....	113
Катунин А.Н. Конструктивные особенности водоприемника эксплуатируемой загорской ГАЭС и основные результаты натурных наблюдений.....	117
Кузьмин П.К. Типовые схемы разрушения и критерии нормирования предельных состояний по результатам обследования сборных железобетонных плит дорожных покрытий.....	122
Филипова Е.Р. К вопросу о геометрии резных оболочек Монжа..	132
Шмелева Е.И. Исследования усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений элементами из углеродного волокна.....	136
Тхома Анамария. О тонкостенных оболочках одинакового ската.....	142
Кушнаренко И. В. Автоматизированный комплекс для расчета инженерных конструкций вариационно-разностным методом	144
Семкив О.М. Исследование устойчивости движения корабля на воздушной подушке.....	155
Тупикова Е.М. Вывод уравнений равновесия для оболочек в форме косоугольного геликоида.....	160
Heidari Alireza. Shakedown analysis of a truss column with large displacements by direct incremental method.....	165
RozanovA-Pierrat A. Efficiency of irregular porous media sound absorbers.....	171
Brajković Jelena, Jović Biljana. Challenges of a human body in new media space (relations of human body and architectural space in the age of new media and technologies).....	172
Milosevic Jelena, Nestorovic Miodrag. Form-generating approach in design of shape resistant structural typologies.....	179
Меньшиков Е.А., Румянцева И.А. Применение композитного шпунта в гидротехническом строительстве.....	184

Мамутов Р.М. О Недостатках замены временных вертикальных нагрузок типа Н-30 на нагрузки типа АК.....	191
Емири Аниекан Дафе. Перспективы применения композиционных материалов в строительстве мостов.....	195
Adegoke Muritala Adedapo. Advanced materials and technologies for energy efficient buildings.....	198

Секция III
СТУДЕНТЫ ОБ АКТУАЛЬНЫХ ВОПРОСАХ
ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ

Комарова И. Способы обеспечения огнестойкости металлоконструкций	206
Митьковец Л. А. Повышение энергоэффективности современных конструкций на примере органической архитектуры.....	210
Игнатов П.В., Космодемьянов В.А. Разработка программы для расчета стержневых конструкций на прочность методом конечных элементов.....	214
Знаменский Н.М. Фундаментальные исследования А. Веллера в области инженерных наук.....	217
Балов А.К. К вопросу о нахождении развернутых выражений в аналитическом расчете торса-геликоида.....	222
Бараненкова А.В., Юшин П.С. Особенности проектирования энергоэффективных домов.....	227
Хулиан Гарсон О. Об инженерных проблемах железнодорожного транспорта в Колумбии.....	232
Leydy Tatiana Guevara Rada. Гидротехнические сооружения и ГЭС Itaipu.....	236
Грышанкова А.Е. О проблеме учета колебаний при расчете инженерных конструкций.....	239
Цыбин Н.Ю. Расчет радиально-неоднородной пластинки с отверстием.....	244
Имомназаров Т.С., Рохас Мартинес Х.Ф. Исследование возможных последствий антропогенного воздействия на малые водотоки.....	252
Курдко Ридха Р. О причинах аварий кранов в строительстве.....	257
Makhiyanova A.R., Matlakhova A.S., Alhamamra A. Possibilities of glued laminated timber.....	261

Миронова Е.А., Хачатрян С.В. Основные принципы проектирования и строительства экологических городов.....	264
Каплий Д.А. Напряжённое состояние радиально неоднородной полусферической оболочки при вертикальной нагрузке.....	269
Напиральский С.С., Акифьева К.С. Современные технологии в армировании.....	275
Шамреева А.А. Сравнительный анализ методов расчёта надёжности конструкций из клеёной древесины согласно российским нормам и Еврокоду.....	279
Сухарькова Е.И. Использование аффинных инвариантных моментов для распознавания изображений цифр	283
Салех М.С. Бионика и геометрическое формообразование в архитектуре Сантьяго Калатравы.....	288
Табаква И.С. Использование геодезической линии для определения траектории обхода препятствия.....	293
Фатеева В.В. Взаимосвязь требований прочности, энергоэффективности и экологичности строительных конструкций и материалов в национальных стандартах.....	298
Алборова Л.А. К вопросу о прочности, устойчивости и динамике оболочек в форме эллиптического параболоида.....	303
Domínguez Velásquez Kalhary. Construcción del gran canal Interoceánico de Nicaragua.....	308
Траоре Матенин А. Совершенствование конструкций кулачковых механизмов.....	312
Гришина А.А. О линейчатых винтовых поверхностях.....	316
Губина Е.Н. О формообразовании основных циклических поверхностей.....	320
Имомназаров Т.С. Исследование строительных европейских норм.....	324
Акили Минкобаме Джоа Мерсья. Математическое моделирование топографических и непрерывно-топографических поверхностей.....	330
Морено Л.Ф., Бестужева А.С. Parametric 3D cad software for the development hydraulic construction project.....	335
Denis SIMO. Conception et analyse structurelle d'une nouvelle forme archi-tecturale (diamond).....	339



Научное издание

**ПРОЧНОСТЬ, ПОЛЗУЧЕСТЬ
И РАЗРУШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ
И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Дизайн обложки *И.В. Кушнаренко*

Подписано в печать 11.11.2014 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 20,23. Тираж 150 экз. Заказ 1549

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41