

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ В НЕСЪЕМНОЙ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНОЙ ОПАЛУБКЕ И ЕЕ НАДЕЖНОСТЬ ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА**

**А.П. Свинцов, А.В. Небогатова, Е.Е. Шумилин**

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

В процессе функционирования технологической системы возведения зданий из монолитного железобетона в несъемной пенополистирольной опалубке выполнено исследование ее надежности. Установлены причинно-следственные связи образования дефектов конструкций. На основе анализа натуральных измерений и обобщений статистических данных определены значения частоты образования дефектов конструкций, а также дана оценка вероятности выполнения задания по параметрам качества.

**Ключевые слова:** несъемная пенополистирольная опалубка, параметры качества, дефекты конструкций, надежность

### **Введение**

Одним из важнейших направлений использования энергосберегающих технологий в строительстве является возведение зданий в несъемной опалубке из пенополистирола, щиты которой представляют собой теплоизолирующие и звукопоглощающие элементы конструкций. Наряду с отмеченными особенностями указанной технологической системы представляются весьма важными показатели ее надежности по параметрам качества.

В настоящее время в научной периодической печати представлены различные аспекты исследования технологической системы возведения монолитных зданий в несъемной опалубке. Однако ее надежность, в том числе и по показателям качества, оказалась вне интересов исследователей. Это сдерживает возможности решения задач по совершенствованию технологической системы для повышения качества производимой строительной продукции.

В результате натурального исследования установлены причинно-следственные связи возникновения дефектов конструкций, возведенных в несъемной пенополистирольной опалубке, а также дана оценка надежности технологической системы по параметрам качества.

### **Анализ состояния вопроса**

Одной из наиболее эффективных и современных строительных технологий является возведение зданий в несъемной опалубке. В соответствии с особенностями возводимых конструкций применяют несъемную опалубку в виде облицовочных панелей, армированных панелей, деревобетонных панелей, магнезитовых панелей, пенополистирольных пластин и др. [1–4].

Применение несъемной опалубки для возведения конструкций из железобетона позволяет увеличить их несущую способность и существенно снизить трудоемкость работ [5; 6]. Считается, что значительным достоинством указанной технологической системы является минимальная потребность в строительной технике для монтажа опалубки. Один из наиболее значимых недостатков этой технологической системы заключается в сложности монтажа и выверки опалубки, а также в отсутствии технических средств для надежного временного закрепления щитов.

При строительстве жилых зданий широко применяется несъемная опалубка, выполненная в виде блоков, состоящих из пенополистирольных пластин, соединенных между собой перемычками, служит утеплителем ограждающих конструкций [7; 8]. Толщина пенополистирольных пластин составляет, как правило, от 50 до 100 мм в зависимости от требуемого сопротивления теплопередаче. Расстояние между внутренними поверхностями пластин опалубки определяется проектом и обычно составляет от 100 до 200 мм. Применение несъемной опалубки предполагает монолитное строительство зданий различного назначения. В работе [9] показано, что монолитное строительство характеризуется рядом преимуществ по сравнению с другими технологиями: энергоемкость производства ниже в среднем на 30% по сравнению со сборным строительством, более низкие (на 60%) капитальные вложения в производственную базу и др.

Возведение зданий в несъемной опалубке из пенополистирола позволяет решать задачи энергосбережения в процессе их эксплуатации и создавать условия для обеспечения проектных значений температурно-влажностных условий в помещениях. В работах [10; 11] представлены результаты исследования влажностных характеристик железобетонных стен с несъемной опалубкой из пенополистирола. Отмечено, что начальная влажность опалубки зависит от условий выполнения общестроительных и отделочных работ, а также от содержания законченных домов до их заселения. Установлено, что в помещениях домов, возведенных из железобетона в пенополистирольной несъемной опалубке, микроклиматические условия соответствуют нормативным требованиям.

На водопоглощение пенополистиролом значительное влияние оказывает продолжительность увлажнения. По данным [12], длительное (около одного года) увлажнение беспрессового пенополистирола увеличивает его влажность в 2—3 раза.

В целом, технологическая система возведения монолитных железобетонных зданий в несъемной опалубке эффективна в техническом и экономическом аспектах. Техничко-экономическая эффективность применения пенополистирольной опалубки, отмеченная в работе [8], позволяет считать эту технологию перспективной для условий современного строительства.

Реализация любой технологии строительства находится под воздействием многих и часто неуправляемых факторов, оказывающих влияние на параметры затрачиваемых ресурсов, производительности и качества изготавливаемой продукции. При возведении зданий осуществляют систематический контроль за соблюдением проектных решений. Несмотря на жесткий контроль качества, полностью исключить возникновение брака не представляется возможным. В настоящее вре-

мя в строительстве уровень бездефектности является одним из самых низких среди всех отраслей. В этой связи повышение надежности технологических систем в части выполнения заданий по параметрам качества является актуальной научно-технической задачей.

Анализ результатов современных исследований позволяет считать, что в общем объеме дефектов, повышающих вероятность возникновения аварий зданий и сооружений, человеческие ошибки составляют значительную часть [13]. О значительной ответственности производственного персонала за надежность функционирования технологической системы и качества изготавливаемой продукции говорится и в работе [14]. При возведении зданий из монолитного железобетона в несъемной пенополистирольной опалубке одним из наиболее часто возникающих дефектов является нарушение геометрических параметров стен в поперечном направлении (распор). Являясь значительным, но не критическим, указанный вид дефекта приводит к возможному образованию мостиков холода. Подобные локальные дефекты служат одной из важнейших причин снижения комфортности здания [15]. В местах образования таких дефектов возможно уменьшение толщины теплоизоляционного слоя. В этой связи производство строительной продукции, качество которой отвечает современным требованиям, возможно только на основе всеобщего управления качеством. Одним из важнейших элементов управления качеством производимой продукции является установление научно обоснованных критериев объективной оценки надежности технологической системы.

Исследования, результаты которых представлены в [16], показывают, что дефекты, возникающие в процессе выполнения строительно-монтажных работ, служат основной причиной около 60% аварий в строительстве. При анализе причинно-следственных связей возникновения аварий из-за строительного брака выявлено, что соотношение между теоретической и фактической вероятностями аварии зданий и сооружений обуславливает превышение фактического риска над теоретическим значением в 10 раз [17]. Представленные методы анализа надежности строительных технологических систем позволяют давать количественную оценку выполнения задания по параметрам качества изготавливаемой продукции. Однако вопросы оценки показателей надежности технологической системы возведения монолитных зданий в пенополистирольной несъемной опалубке не рассматривались в указанной работе.

Особенности оценки показателей надежности строительных технологических систем, представленные в работе [18], заключаются в том, что безопасность строительства, особенно линейно-протяженных объектов, может быть математически описана с использованием распределения Пуансона. Одним из наиболее эффективных методов повышения надежности технологической системы является организация ритмичной работы с исключением потерь и простоев при неожиданных отказах [19].

Концепция оценки строительной технологии в аспекте ее устойчивости представлена в [20]. В работе представлены принципы, этапы и методы оценки технологий, применимых в процессе достижения устойчивости в строительной отрасли. В работе [21] представлены эмпирические модели вероятностных процес-

сов в функционировании технологических систем. Показано, что существует значимая экономическая связь между научными рекомендациями и функционированием технологической системы.

Для повышения эффективности контроля за реализацией технологических процессов в строительстве предложено автоматизировать сбор и анализ данных с использованием компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением [22]. Результаты испытаний представленной системы позволили авторам сократить время на анализ данных при одновременном повышении точности выявления дефектов по сравнению с традиционными методами.

Анализ источников информации о представленных результатах исследования показывает, что технологическая система возведения зданий из монолитного железобетона в несъемной пенополистирольной опалубке является решением одной из важнейших задач повышения тепловой и экономической эффективности современного строительства. Однако существующие методы оценки ее надежности в настоящее время разработаны не в полной мере. Это сдерживает решение задач обеспечения качества строительной продукции современным принципам концепции управления качеством, изложенной в ISO-9000.

### Методы исследования и анализа

Технологические дефекты монолитных железобетонных конструкций, возведенных в несъемной пенополистирольной опалубке, выявляют в процессе визуального обследования (рис. 1).



Рис. 1. Выявленное отклонение поверхности потолка от проектного положения

Измерения величин отклонений выполнены с использованием линейки и мерной ленты (рулетки) с ценой деления 1 мм.

Математическая обработка результатов измерений выполнена по известным методикам статистического анализа. Это позволило получить значения площадей дефектов с надежностью  $\gamma = 0,90$ .

Величины общей площади поверхностей конструкций стен и перекрытий приняты по данным проектной документации.

Статистически значимые данные дефектов и проектные значения площадей поверхностей возведенных конструкций использованы для оценки надежности технологической системы по параметрам качества.

Строительная технологическая система представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства, производственного и управленческого персонала, предназначенную для выполнения в регламентированных условиях производственных операций и технологических процессов для производства и реализации строительной продукции.

Одним из важнейших показателей надежности строительной технологической системы является вероятность выполнения задания по параметрам качества. Оценку надежности по параметрам качества производят с учетом следующих критериев:

- несоответствие одного из показателей качества строительной продукции требованиям проектной и нормативной документации;
- несоответствие параметров или режимов реализации операций или строительных процессов технологическим картам;
- несоответствие контролируемых параметров операций и строительных процессов нормативам, регламентированным проектной и нормативной документацией.

Важно отметить, что при оценке надежности по параметрам качества изготавливаемой строительной продукции за критерий отказа следует принимать только параметры, не соответствующие уровню, регламентированному проектной и нормативной документацией.

В соответствии с ГОСТ 27.203—83 вероятность выполнения задания по параметрам качества определяется по формуле

$$P_{wj}(T) = P\{W_j \leq W_{0j}\}, \quad (1)$$

где  $W_j$ ,  $W_{0j}$  — соответственно, фактическая и допустимая частота выявленных дефектов в партии по  $j$ -му параметру.

Частота выявленных дефектов определяется по формуле

$$W = \frac{d(T)}{N(T)}, \quad (2)$$

где  $d(T)$  — количество дефектов в партии изделий;  $N(T)$  — общее количество изделий в партии, изготовленной за наработку  $T$ .

Наработка  $T$  может измеряться в единицах времени, цикла функционирования или единицах изготовленной продукции.

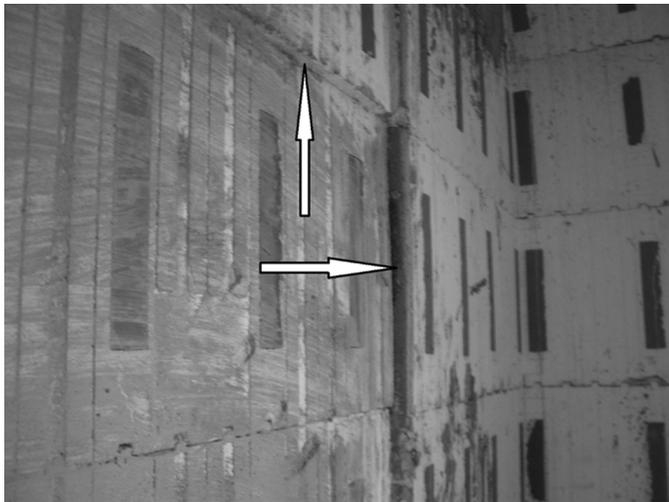
Обследование выполнено на основе метода однократной выборки по браковочному уровню. Допустимое значение частоты выявленных дефектов принято  $W_0 = 0,02$ . Минимальное значение вероятности выполнения задания по параметрам качества (гарантированное значение вероятности безотказной работы) принято  $P_\beta = 0,90$ .

Анализ надежности строительной технологической системы по показателям качества монолитных железобетонных конструкций, возводимых в пенополистирольной несъемной опалубке, позволил получить объективные показатели с обеспеченностью не ниже  $\gamma = 0,90$ .

### Результаты и их обсуждение

Технология возведения монолитных железобетонных конструкций в несъемной пенополистирольной опалубке характеризуется относительной новизной для строительства в России. Одной из особенностей возводимых конструкций является то, что несъемная пенополистирольная опалубка служит одновременно теплоизолятором и звукопоглотителем. На строительном рынке России представлены разные виды несъемной пенополистирольной опалубки [3; 18].

Благодаря высоким теплоизолирующим свойствам пенополистирола возведенные здания в несъемной опалубке характеризуются повышенной теплоэффективностью. В связи с тем, что ограждающие конструкции зданий должны иметь термическое сопротивление, отвечающее нормативным требованиям тепловой защиты зданий, их качество должно быть под постоянным контролем. Контроль качества производимой строительной продукции является обязательным, так как при реализации любой строительной технологии возможно возникновение дефектов. На рисунке 2 представлен фрагмент возведенной стены с дефектами, вызванными распором и расхождением щитов опалубки.



**Рис. 2.** Внешний вид поврежденных возведенной монолитной железобетонной стены в несъемной пенополистирольной опалубке

Такой дефект не является критическим, но подлежит обязательному устранению. Расхождение щитов опалубки вызвано увеличением толщины бетонной части стены и обуславливает уменьшение толщины теплоизоляционного слоя из пенополистирола. Уменьшение теплоизолирующего слоя сопряжено с возможностью промерзания стены в зимний период эксплуатации здания. Для устранения дефектов подобного рода приходится срезать значительную часть пенополистирольной опалубки с учетом необходимости обеспечения проектного верти-

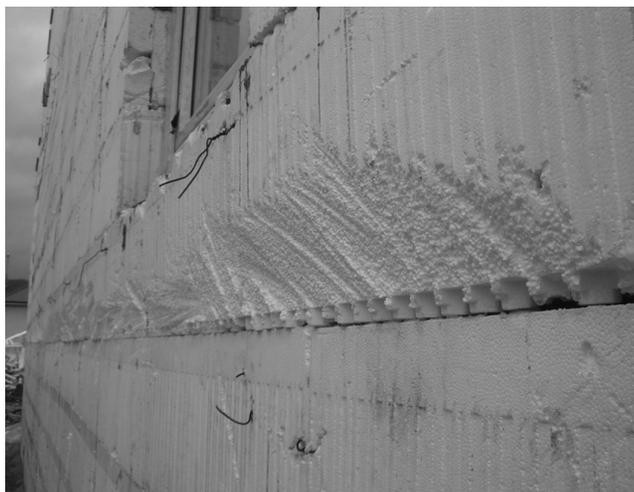
кального положения стены без аномальных неровностей. На рисунке 3 представлен фрагмент стены со снятым слоем пенополистирольной опалубки.



**Рис. 3.** Фрагмент стены со снятым слоем пенополистирольной опалубки

Устранение дефектов указанного типа приводит к увеличению себестоимости строительной продукции. В связи с этим представляется целесообразным выполнить анализ дефектов для выявления причинно-следственных связей, а также для оценки эксплуатационной надежности технологической системы, что позволит предложить мероприятия по ее повышению.

На рисунке 4 представлен фрагмент наружной стены, подготовленной к началу отделочных работ.



**Рис. 4.** Фрагмент наружной стены с дефектом, «зачищенным» заподлицо

Известно, что теплопотери через ограждающие конструкции во многом зависят и от качества строительных работ. Технологические дефекты могут привести к увеличению теплопотерь здания, несмотря на тщательно обоснованные проектные решения. В этой связи задачи обеспечения качества строительной

продукции целесообразно рассматривать в комплексе с надежностью строительной технологической системы.

В настоящее время для исследования различных аспектов надежности технологических систем, применяемых в строительстве, используют систему стандартов «Надежность в технике». В соответствии с ГОСТ 27.004—85 технологическая система — совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Надежность строительной технологической системы представляет собой свойство системы выполнять функции обеспечения заданных показателей качества строительной продукции, производительности и экономичности в регламентированных условиях производства строительно-монтажных работ, хранения и эксплуатации технологического оснащения, хранения и использования строительных материалов и конструкций, а также функционирования производственного и управленческого персонала соответствующей профессии и квалификации. Одним из направлений оценки надежности строительных технологических систем является ее определение по параметрам качества производимой продукции. В результате анализа журналов производства работ и дефектных ведомостей установлено, что надежность технологической системы по параметрам качества возведения зданий из монолитного железобетона в несъемной пенополистирольной опалубке в значительной степени зависит от ее конструктивного решения и от способа укладки бетона.

Расхождения щитов опалубки вызваны разрывом стяжек по действиям сил распора от укладываемого и уплотняемого бетона. В процессе обследования установлено, что наиболее часто разрыв стяжных стержней происходит при укладке бетона посредством бетононасоса. При использовании бетононасоса производственный персонал допускает укладку бетона с большей толщиной слоя, чем предусмотрено в технологической карте. Кроме того, прочность материала стяжного стержня имеет важное значение. Установлено, что при стальных стяжных стержнях расхождения щитов опалубки не наблюдается ни при укладке бетона по схеме «кран-бадья», ни при его укладке посредством бетононасоса.

В рамках выполненного исследования установлено, что частота выявленных дефектов пенополистирольной несъемной опалубки изменяется от 0,016 до 0,025 при среднем значении 0,019. Вероятность выполнения задания по параметрам качества составляет в среднем  $P_{kj} = 0,946$ . По условию исследования минимальное значение вероятности безотказной работы технологической системы принято  $P_{\beta} = 0,90$ . Следовательно, указанная строительная технологическая система возведения зданий из монолитного железобетона в пенополистирольной несъемной опалубке может быть характеризована как соответствующая заданному уровню надежности.

### **Заключение**

Возведение зданий из монолитного железобетона с использованием пенополистирольной несъемной опалубки является одной из наиболее перспективных

строительных технологических систем. Высокие теплоизолирующие и звукопоглощающие свойства пенополистирола позволяют использовать щиты опалубки как неотъемлемые элементы возводимых конструкций. В процессе функционирования технологической системы возникают дефекты не критического характера. Наиболее значимые дефекты образуются в виде расхождения щитов опалубки при укладке бетонной смеси. Ненадлежащее устранение указанных дефектов или их сокрытие под отделочным слоем может создать условия для промерзания наружных стен в холодный период года.

В результате натурных исследований и анализа дефектных ведомостей установлено, что строительная технологическая система возведения зданий в пенополистирольной несъемной опалубке характеризуется высокой надежностью по параметрам качества.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Verbruggen S., Remy O., Wastiels J., Tysmans T.* Stay-in-place formwork of TRC designed as shear reinforcement for concrete beam. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2013. Articles ID 648943. 9 p.
- [2] *Verbruggen S., Remy O., Wastiels J., Tysmans T.* «TRC or CFRP strengthening for reinforced concrete beams: an experimental study of the cracking behavior»; *Engineering structures*. 2014. Vol. 77. Pp. 49–56.
- [3] *Таран В.В.* Устройство самонесущих стен из пенополистиролбетона в несъемной опалубке // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2013. Т. 9. № 1. С. 49–58.
- [4] *Vanderwerf Pieter A.* The Concrete House: Building Solid, Safe & Efficient with Insulating Concrete Forms. Pittsburgh: Sterling. 2007. 176 p.
- [5] *Benjamin Scott, Noran Wahab, Adil Al-Mayah, Khaled A. Soudki.* Effect of stay-in-place PVC formwork panel geometry on flexural behavior of reinforced concrete walls. *Structures*. Vol. 5. 2016. P. 123–130.
- [6] *Amr Abdel Havez, Noran Wahab, Adil Al-Mayah, Khaled A. Soudki.* Behaviour of PVC encased reinforced concrete walls under eccentric axial loading. *Structures*. Vol. 5. 2016. P. 67–75.
- [7] *Комкова А.В., Пустовалова Е.А.* Особенности инновационных технологий возведения стен из монолитного железобетона с помощью несъемной опалубки // *Современные научные исследования и инновации*. 2012. № 5 (13). С. 6.
- [8] *Бадьин Г.М.* Несъемные опалубочные системы для наружных стен малоэтажных зданий // *Вестник гражданских инженеров*. 2012. № 1. С. 137–142.
- [9] *Рязанова Г.Н., Камбург В.Г.* Совершенствование технологии возведения ограждающих конструкций в несъемной опалубке: научное издание. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2010. 167 с.
- [10] *Федюк Р.С., Баранов В.А.* Натурные исследования влажностного режима монолитных стен с несъемной опалубкой из пенополистирола // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2015. № 3. С. 151–158.
- [11] *Derome D., Saneinejad S.* Inward Vapor Diffusion Due to High Temperature Gradients in Experimentally Tested Large-Scale Wall Assemblies // *Building and Environment*. 2010. Vol. 45, Issue 12. 2790–2797 pp.
- [12] *Ralston B., Osswald T.* Viscosity of Soy Protein Plastics Determined by Screw-Driven Capillary Rheometry // *Journal of Polymers and the Environment*. 2008. Vol. 16, Issue 3. 169–176 p.
- [13] *Тамразян А.Г., Булгаков С.Н., Рахман И.А., Степанов А.Ю.* Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. М.: АСВ, 2012. 304 с.
- [14] *Свинцов А.П., Панин О.В.* Надежность технологической системы возведения монолитных железобетонных стен // *Вестник РУДН. Инженерные исследования*. 2011. № 2. С. 43–47.

- [15] Гныря А.И., Коробков С.В., Жаркой Р.А. Экспериментальные исследования температурных полей наружного ограждения малоэтажных зданий, выполненных в несъемной опалубке // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 2. С. 92—99.
- [16] Байбурин А.Х., Головнев С.Г. Качество и безопасность строительных технологий: монография. Челябинск: УГТУ-УПИ. 2006. 384 с.
- [17] Байбурин А.Х. Оценка вероятности аварии с учетом ошибок участников строительства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 15. № 1. С. 10—13.
- [18] Абрамян С.Г., Ахмедов А.М., Халилов В.С., Уманцев Д.А. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36 (55). С. 231—239.
- [19] Абдуллаев Г.И.О. Основные направления повышения надежности строительных процессов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 4. С. 59—60.
- [20] Lukasz Nazarko. Technology Assessment in Construction Sector as a towards Sustainability. Procedia Engineering. Vol. 122. 2015. P. 290—295.
- [21] Paul Nightingale. Technological capabilities, invisible infrastructure and the un-social construction of predictability: the overlooked fixed costs of useful research. Research Policy. Vol. 33. Issue 9. 2004. P. 1259—1284.
- [22] Mohammad Mostafa Soltani, Zhenhua Zhu, Amin Hammad. Automated annotation for visual recognition of construction resources using synthetic images. Automation in Construction. Vol. 62, February 2016. P. 14—23.

## **TECHNOLOGY OF BUILDING CONSTRUCTION IN THE PERMANENT FOAMED POLYSTYRENE FORMWORK AND ITS RELIABILITY ON QUALITY PARAMETERS**

**A.P. Svintsov, A.V. Nebogatova, E.E. Shumilin**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

A study of reliability of technological system of cast-in-situ reinforced concrete building construction in permanent EPS formwork was performed. We established the causal links of formation of structural defects. Based on the analysis of field measurements and generalizations of statistic data, we determined the values of the rate of formation of structural defects, as well as an assessment of the probability of assignment on quality parameters was given.

**Key words:** Permanent formwork of polystyrene foam, quality parameters, defects in construction, reliability