

ОЦЕНКА ВЫНОСЛИВОСТИ ПРОПИТАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

А.П. Свинцов, Ю.В. Николенко, А.С. Казаков

Кафедра проектирования и строительства промышленных
и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Во многих бетонных и железобетонных элементах несущих конструкций, подверженных часто меняющимся нагрузениям, накапливаются усталостные повреждения материала, приводящие к разрушению. Нефтепродукты, пропитывающие бетонные и железобетонные конструкции, оказывают негативное влияние на их физико-механические характеристики и способствуют образованию повреждений. При этом указанное негативное влияние в значительной степени зависит от вязкости нефтепродуктов.

В настоящее время имеющиеся рекомендации по оценке выносливости бетонных и железобетонных элементов не в полной мере учитывают влияние вязкости нефтепродуктов на их физико-механические характеристики. Это сдерживает решение задач обеспечения безопасных условий эксплуатации промышленных зданий, в технологических процессах которых используются нефтепродукты.

На основе анализа результатов испытаний на выносливость бетонных и железобетонных элементов получена эмпирическая формула оценки накопления усталости в зависимости от количества циклов нагружений и условной вязкости пропитывающих нефтепродуктов.

Представленное математическое описание оценки выносливости позволяет определять индекс безопасности и имеющийся ресурс бетонных и железобетонных элементов несущих конструкций, находящихся под воздействием различных нефтепродуктов.

Ключевые слова: бетон, железобетон, выносливость, нефтепродукты, условная вязкость, микротрещины, напряжение, прочность.

Оценка выносливости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных конструкций является важной научно-технической задачей обеспечения безопасных условий эксплуатации промышленных зданий.

Особенности промышленных зданий нефтепереработки, машиностроения, металлообработки, автомобилестроения и др. заключается в том, что их несущие бетонные и железобетонные конструкции не только подвержены многократно повторяющимся нагрузениям, но и находятся под воздействием нефтепродуктов, оказывающих на них негативное воздействие. В этих условиях оценка выносливости бетонных и железобетонных элементов несущих конструкций приобретает особую значимость для обеспечения технической безопасности промышленных зданий.

Математическое описание усталости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных несущих конструкций позволяет давать объективную оценку технического состояния элементов, находящихся под многократно повторяющимся нагружением.

Анализ состояния вопроса. В конструкциях, находящихся под воздействием многократно повторяющихся нагружений, накапливается усталость материала, которая может привести к разрушению даже при действии не самых больших напряжений.

В настоящее время из-за отсутствия общей теории усталости основным направлением решения практических задач по обеспечению технической безопасности несущих конструкций промышленных зданий являются экспериментальные исследования и формулировка на их основе математических моделей [1; 2]. Математические модели и эмпирические формулы имеют граничные условия применения по условиям эксплуатации, материалам и т.п.

При многократно повторяющихся нагружениях задолго до разрушения образуются микротрещины, вызванные относительно небольшими напряжениями [3]. Последующие нагружения приводят к увеличению размеров уже существующих и к образованию новых микротрещин. Накопление микротрещин приводит к усталостному разрушению конструкций.

Экспериментальные исследования выносливости позволяют дать оценку остаточной долговечности и прогноза развития усталостного трещинообразования в бетоне [4]. Составление прогноза поведения конструкции является одним из важнейших направлений обеспечения безопасных условий эксплуатации промышленных зданий.

Усталость материала накапливается в течение относительно длительного времени, что не всегда целесообразно изучать на натуральных объектах. В связи с этим усталость строительных материалов, бетонных и железобетонных конструкций рассматриваются в направлении анализа работы физических моделей усталостного сопротивления железобетонных изгибаемых элементов действию поперечных сил [5; 6]. При физическом моделировании усталости материала вместо фактически действующих нерегулярных и случайно меняющихся нагружений применяют циклические нагружения с постоянной амплитудой. При анализе результатов экспериментального исследования могут быть использованы гипотезы Пальмгрейна—Майнера или Кортена—Долана.

В промышленных зданиях несущие конструкции могут находиться под воздействием различных нефтепродуктов. При их воздействии на бетонные и железобетонные несущие конструкции их выносливость существенно снижается. Бетон без пропитки нефтепродуктами при уровне напряжений 0,45 выдерживает 2—2,5 млн циклов нагружений, а пропитанный нефтепродуктами — 700—900 тыс. циклов [7—9]. При этом выявлено статистически значимое различие показателей выносливости бетона, пропитанного нефтепродуктами с неодинаковой вязкостью.

Наиболее негативное воздействие оказывают содержащиеся в нефтепродуктах смолы и присадки, а также асфальто-смолистые вещества, находящиеся в отработанных маслах [10]. Применяемые на промышленных предприятиях нефтепродукты и жидкости на их основе имеют различную вязкость и не одинаково негативно влияют на выносливость бетонных и железобетонных конструкций. Однако имеющиеся в настоящее время рекомендации по оценке выносливости бетонных и же-

лезобетонных несущих конструкций не в полной мере учитывают вязкость пропитывающих нефтепродуктов. Это сдерживает решение задач по обеспечению технической безопасности промышленных зданий, где в технологических процессах используются нефтепродукты.

Методы исследования. Исследование бетона, пропитанного нефтепродуктами с различной вязкостью, выполнено экспериментальным методом с последующей статистической обработкой полученных результатов, а также сравнением с данными других исследователей.

Экспериментальное исследование выносливости бетонных образцов выполнено в соответствии с ГОСТ 24545-81 «Бетоны. Методы испытаний на выносливость». В качестве пропитывающих бетон нефтепродуктов использовано индустриальное масло И-30А, широко применяемое в машиностроении, а также топливный мазут М-40, применяемый в теплоэнергетике. Условная вязкость нефтепродуктов принята по справочным таблицам [11]. В качестве контрольных использованы бетонные образцы без пропитки нефтепродуктами. Статистическая значимость полученных данных определена при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Выполнено сравнение полученных результатов с данными исследований М.Н. Васильева [7], А.А. Воробьева, А.С. Казакова [8]. Анализируемые данные проверены по критерию независимости Спирмена и критерию однородности Вилкоксона при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

По результатам анализа данных о выносливости бетонных образцов, пропитанных нефтепродуктами с различной условной вязкостью, а также образцов без пропитки по известным методикам [12] построена линия регрессии и выполнено обоснование выбора оптимальной эмпирической формулы.

Точный прогноз изменения выносливости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных несущих конструкций составить невозможно. Однако ее оценка в пределах имеющейся экспериментальной информации представляет практический интерес для обеспечения безопасных условий эксплуатации промышленных зданий.

Результаты и их обсуждение. На основе экспериментальных данных разработана эмпирическая формула, которая с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,86$ моделирует связь выносливости бетона с соответствующего классу сопротивлением осевому сжатию с количеством циклов многократно повторяющегося нагружения и условной вязкостью нефтепродуктов

$$\eta_{bf} = \frac{\sigma_{\max}}{R_{\text{вп}}} = 1,237 - 0,08 \lg (\text{°ВУ}) - 0,173 \lg N, \quad (1)$$

где σ_{\max} — наибольшее по алгебраическому значению напряжение, МПа; $R_{\text{вп}}$ — расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа; °ВУ — условная вязкость нефтепродукта, градусы Энглера °Е; N — количество циклов многократно повторяющегося нагружения.

Пропитавшие бетон нефтепродукты проникают из пор в микротрещины, образовавшиеся в результате многократно повторяющегося нагружения, и, являясь несжимаемыми жидкостями, передают возникающие напряжения во все направления. Это приводит к дальнейшему разрушению связей в цементном камне, рас-

ширению уже существующих и образованию новых микротрещин. В пропитанных нефтепродуктами железобетонных конструкциях нарушается сцепление арматуры с цементным камнем. При обследовании несущих железобетонных конструкций, находившихся под воздействием нефтепродуктов, выявлено снижение сцепления цементного камня с гладкой арматурой на 70% [10]. Это приводит к ухудшению всех характеристик железобетона, включая его выносливость.

В начале многократно повторяющегося нагружения проявляются локальные микропластические деформации и микротрещины, которые постепенно разрастаются. Из существующих пор пропитавшие бетон нефтепродукты проникают в образовавшиеся микротрещины. Скорость заполнения микротрещин нефтепродуктами в значительной степени зависит от их вязкости. Под воздействием дальнейшего нагружения микротрещины превращаются в малые трещины, а несжимаемая жидкость нефтепродуктов передает силы распора на поверхности повреждений. В результате многократно повторяющегося нагружения и акцентированной передачи распора на стенки образовавшихся повреждений рост трещин и их заполнение нефтепродуктами происходит непрерывно. Это приводит к образованию макротрещин, которые быстро развиваются, чему способствуют заполняющие их нефтепродукты. Постепенное накопление повреждений приводит к усталостным явлениям несущих бетонных и железобетонных конструкций и в конечном итоге к их разрушению. Накопление усталостных повреждений в пропитанных нефтепродуктами элементах бетонных и железобетонных несущих конструкций приводит к их разрушению даже при нагрузках, которые создают напряжения, значительно ниже, чем сопротивление при статических нагрузках. Выносливость элементов бетонных и железобетонных несущих конструкций определяется в основном классом бетона, количеством нагружений и вязкостью пропитавших нефтепродуктов.

Одной из важнейших задач исследования является выявление закономерностей. Решение этой задачи позволяет судить о поведении материала и составлять прогноз его работы в конкретных условиях эксплуатации.

Формула (1) позволяет прогнозировать поведение пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных несущих конструкций промышленных зданий в конкретных условиях эксплуатации. Определение выносливости бетонных и железобетонных несущих конструкций, пропитанных нефтепродуктами, составляет основу оценки их технического состояния.

В результате исследования установлено, что при оценке выносливости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных несущих конструкций промышленных зданий усталостная долговечность определяется классом бетона, числом многократно повторяющихся нагружений и вязкостью нефтепродуктов. На основе экспериментальных данных разработана эмпирическая формула, позволяющая статистически значимо моделировать зависимость выносливости бетона от указанных факторов. Определение выносливости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных конструкций позволяет давать оценку их технического состояния и усталостной долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Арутюнян А.Р., Арутюнян Р.А. Формулировка критерия усталости, основанного на концепции скрытой энергии деформации // Физическая механика. — 2010. — № 13 (2). — С. 31—39. [Arutjunjan A.R., Arutjunjan R.A. Formulirovka kriterija ustalosti, osnovannogo na koncepcii skrytoj jenerгии deformacii // Fizicheskaja mehanika. — 2010. — № 13 (2). — S. 31—39.]
- [2] Schijve J. Fatigue of structures and the 20th century and the state of the art // Int. J. Fatigue. — 2003. — V. 25. — № 8. — P. 679—702.
- [3] Глазунов Ю.В. Особенности разрушения бетона при многократно повторяющемся действии нагрузки // Научно-технический сборник № 47. Коммунальное хозяйство городов. — Харьков, 2003. — С. 34—38. [Glazunov Ju.V. Osobennosti razrushenija betona pri mnogokratno povtorjajushhemsja dejstvii nagruzki // Nauchno-tehnicheskij sbornik № 47. Kommunal'noe hozjajstvo gorodov. — Har'kov, 2003. — S. 34—38.]
- [4] Кольцун Ю.И., Хибник Т.А. Методика расчета периода роста усталостной трещины и ее графическое обобщение // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. — 2009. — № 3—2. — С. 70—79. [Kol'cun Ju.I., Hibnik T.A. Metodika rascheta perioda rosta ustalostnoj treshhiny i ee graficheskoe obobshhenie // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova. — 2009. — № 3—2. — S. 70—79.]
- [5] Мирсаяпов И.Т. Физические модели усталостного сопротивления железобетонных изгибаемых элементов действию поперечных сил // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2006. — № 1 (5). — С. 82—86. [Mirsajapov I.T. Fizicheskie modeli ustalostnogo soprotivlenija zhelezobetonnyh izgibaemyh jelementov dejstvuju poperechnyh sil // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. — 2006. — № 1 (5). — S. 82—86.]
- [6] Мирсаяпов И.Т. Зоны концентрации напряжений при циклическом нагружении в зоне действия поперечных сил железобетонных балок // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2008. — № 1 (9). — С. 83—88. [Mirsajapov I.T. Zony koncentracii naprjazhenij pri ciklicheskom nagruzhenii v zone dejstvija poperechnyh sil zhelezobetonnyh balok // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. — 2008. — № 1 (9). — S. 83—88.]
- [7] Васильев Н.М. Влияние минеральных масел на физико-механические свойства бетона и его защита: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1966. — 153 с. [Vasil'ev N.M. Vlijanie mineral'nyh masel na fiziko-mehanicheckie svojstva betona i ego zashhita: Diss. ... kand. tehn. nauk. — M., 1966. — 153 s.]
- [8] Воробьев А.А., Казаков А.С. Стойкость строительных конструкций при эксплуатации в промышленных зданиях при воздействии на них нефтепродуктов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». — 2010. — № 2. — С. 32—35. [Vorob'ev A.A., Kazakov A.S. Stojkost' stroitel'nyh konstrukcij pri jekspluatacii v promyshlennyh zdaniyah pri vozdejstvii na nih nefteproduktov // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya «Inzhenernye issledovanija». — 2010. — № 2. — S. 32—35.]
- [9] Basov Yu., Svintsov A., Malov A., Halaby S. L'influence de l'huile de graissage minerale sur le beton et le beton arme // Attakania. — 2008. — № 10. — P. 144—148.
- [10] Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на эксплуатационные качества железобетонных конструкций // Известия КазГАСУ. — 2008. — № 1(9). — С. 137—140. [Jusupova Ju.F. Vlijanie mineral'nyh masel na jekspluatacionnye kachestva zhelezobetonnyh konstrukcij // Izvestija KazGASU. — 2008. — № 1(9). — S. 137—140.]
- [11] Топливно-смазочные материалы, технические жидкости, ассортимент и применение. Справочник. — М.: Техинформ, 1999. — 596 с. [Toplivno-smazochnye materialy, tehnicheckie zhidkosti, assortiment i primenenie. Spravochnik. — M.: Tehinform, 1999. — 596 s.]

- [12] Пучков Я.М. Построение и анализ эмпирических формул / Я.М. Пучков, В.Г. Шеменев. — Екатеринбург: УрО РАН, 2007. — 119 с. [*Puchkov Ja.M. Postroenie i analiz jempiricheskikh formul / Ja.M. Puchkov, V.G. Shemenev. — Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. — 119 s.*]

ENDURANCE ASSESSMENT OF THE CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE LOAD-BEARING STRUCTURES, IMPREGNATED BY PETROLEUM

A.P. Svintsov, Yu.V. Nikolenko, A.S. Kazakov

Department of Civil Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

In many concrete and reinforced concrete elements of load-bearing structures, exposed to the frequently changing loads, accumulated fatigue damage of the material, leading to destruction. Petroleum products which impregnate concrete and reinforced concrete structures have a negative influence on their physical and mechanical properties and contribute to the formation of damages. Wherein said negative effect is largely depend on the viscosity of petroleum products.

Currently available guidelines for assessing endurance of concrete and reinforced concrete elements do not fully take into account the effect of viscosity of petroleum products on their physical and mechanical characteristics. This restrains the solution of the tasks to ensure the maintenance safety conditions of industrial buildings in technological processes that use petroleum products.

Based on the analysis of the test results on the endurance of concrete and reinforced concrete elements obtained an empirical formula to estimate the accumulation of fatigue depending on the number of loading cycles and the conditional viscosity impregnating of petroleum products.

Represented mathematical description of the endurance assesment allows to determine the index of safety and available resources of concrete and reinforced concrete elements of load-bearing structures under the influence of various petroleum products.

Key words: safety index, concrete, petroleum products, viscosity, endurance, fatigue, industrial buildings, load-bearing capacity, load, stress, microcracks, destruction.