**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 9, № 3, 2018
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2018.3.11

УДК 69.07

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА И НАДЕЖНОСТЬ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

А.П. Свинцов, Ю.В. Николенко

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 12 января 2018
Принята: 7 мая 2018
Опубликована: 28 сентября 2018

Ключевые слова:

бетон, железобетон, нефтепродукты, вязкость, прочность, деформации, выносливость, напряжение, надежность, несущие конструкции.

АННОТАЦИЯ

Обеспечение надежности и технической безопасности несущих конструкций является одним из важнейших направлений эксплуатации промышленных зданий. Нефтепродукты, которые широко применяются в технологических процессах, попадают на бетонные и железобетонные элементы конструкций и постепенно пропитывают их. Это приводит к значительному изменению первоначальных физико-механических характеристик бетона и железобетона и может служить технической причиной возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций.

Различное влияние нефтепродуктов обусловлено неодинаковым изменением их гидравлического давления в порах скелета бетонного камня. Имеющиеся в настоящее время методики и рекомендации по оценке надежности бетонных и железобетонных конструкций не в полной мере учитывают изменения их первоначальных физико-механических характеристик, возникающих под влиянием пропитывающих нефтепродуктов.

При исследовании использованы образцы из бетона и цементно-песчаного раствора, разделенные на две серии: пропитанные нефтепродуктами с различной вязкостью и контрольные – без пропитки нефтепродуктами. Исследование выполнено на основе анализа и обобщения данных экспериментального изучения влияния нефтепродуктов с различной вязкостью на деформативные свойства бетона, с использованием методов теории вероятностей и математической статистики.

Разработанные эмпирические модели влияния вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства и выносливость бетона позволяют рассчитывать индекс безопасности как меру надежности несущих бетонных и железобетонных конструкций, пропитанных нефтепродуктами.

Полученные результаты позволяют составлять научно обоснованный прогноз изменения физико-механических характеристик пропитанных нефтепродуктами несущих бетонных и железобетонных конструкций и давать количественную характеристику их технического состояния.

© ПНИПУ

© Свинцов Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, e-mail: svintsovap@rambler.ru.
Николенко Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: yvnikolenko39@gmail.com.

Alexander P. Svintsov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: svintsovap@rambler.ru.
Yuri V. Nikolenko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: yvnikolenko39@gmail.com.

EFFECT OF PETROLEUM PRODUCTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE AND THE RELIABILITY OF LOAD-BEARING STRUCTURES

A.P. Svintsov, Yu.V. Nikolenko

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 12 January 2018
Accepted: 7 May 2018
Published: 28 September 2018

Keywords:

concrete, reinforced concrete, petroleum products, viscosity, strength, strain, endurance, fatigue, safety, stress, reliability, industrial building, load-bearing structures.

ABSTRACT

Reliability and technical safety of the bearing structures is one of the most important areas of operation of industrial buildings. Petroleum products (PP), which are widely used in industrial processes, fall on concrete and reinforced concrete structural elements and gradually impregnate them. This leads to a significant modification of the original physical and mechanical characteristics of concrete and reinforced concrete and can serve as the technical cause of accidents and emergencies.

Different Effects of PP is due to the unequal changes of their hydraulic pressure in the pores of the skeleton of cement stone. Methods and recommendations for the assessment of the reliability of concrete and reinforced concrete structures, which are currently not take into account changes in their initial physical and mechanical characteristics, arising under the influence of petroleum products.

In the researches we used samples of concrete and cement-sand mortar, divided into two series: impregnated in PP of different viscosities and controlled samples – without impregnation by PP.

The study was performed on the basis of analyzing and generalizing the data of experimental study of the influence of PP of different viscosity on the physical and mechanical properties of concrete, using the methods of probability theory and mathematical statistics.

The developed empirical models of effect of viscosity of PP on strain properties and endurance of concrete allow to calculate the safety index as a measure of the reliability of load-bearing CRC structures soaked by PP.

The obtained results allow to make the scientifically substantiated forecast the variations in physical and mechanical characteristics of load-bearing CRC structures soaked by PP and give a quantitative characterization of their technical condition.

The research in this direction is continued.

© PNRPU

Введение

Оценка надежности несущих конструкций промышленных зданий является одной из наиболее важных научно-технических задач обеспечения их технической безопасности. В рамках настоящего исследования выполнены работы по обследованию технического состояния бетонных и железобетонных несущих конструкций промышленных зданий, где применяются нефтепродукты.

В условиях воздействия нефтепродуктов прочность бетона на сжатие снижается на 40–70 %, а при длительном воздействии в течение 25–30 лет – в два-три раза по сравнению с проектными значениями для бетона без воздействия нефтепродуктов [1, 2]. Описан экспериментальный анализ, проведенный с целью оценки прочности бетона на сжатие и его связи с арматурой. Долгосрочные исследования проводились с целью определения влияния группы нефтепродуктов (минеральных масел) на свойства образцов бетона и железобетона [3–5]. Это обуславливает увеличение вероятности проявления деструктивных процессов в несущих бетонных и железобетонных конструкциях промышленных зданий и опасность их разрушения с различной степенью тяжести.

Отработанное и свежее машинное масло не одинаково воздействуют на физико-механические свойства и структуру бетона [1, 6]. Это связано с различной вязкостью све-

жего и отработанного минерального масла. Наиболее негативное воздействие оказывают содержащиеся в нефтепродуктах смолы и присадки, а также асфальто-смолистые вещества, находящиеся в отработанных маслах. Результаты исследования влияния вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства бетона представлены в [7]. Предложенная эмпирическая модель позволяет составлять прогноз изменения деформаций в зависимости от осевого нагружения бетона, пропитанного различными нефтепродуктами. Закономерности изменения прочностных и деформативных свойств бетона и железобетона показаны в работах [2, 8].

Исследования влияния нефтепродуктов на деформативные свойства бетона и железобетона позволили выявить различные аспекты их воздействия. Результаты исследования деформативных свойств бетона, пропитанного минеральным маслом И-20, представлены в работе [9]. Однако в процессе эксплуатации промышленных зданий на их несущие конструкции попадают и другие нефтепродукты. Устранению этого недостатка посвящена публикация [10], в которой представлены результаты исследования влияния различных нефтепродуктов (минерального масла И-30, топочного мазута, дизельного топлива, осветительного керосина, бензина А-80) на деформативные свойства бетона. Показано, что при осевом сжатии бетона, пропитанного указанными нефтепродуктами, поперечные деформации возрастают, а продольные – уменьшаются по сравнению с контрольными образцами.

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены закономерности изменения физико-механических характеристик бетона и железобетона в зависимости от вязкости пропитывающих минерального и растительного масла [11].

Снижение несущей способности или даже отказ конструкции из-за усталости материала происходит вследствие накопления деформаций, вызванных часто меняющейся нагрузкой, и может наступить даже при незначительных напряжениях. При многократном приложении нагрузки в бетоне нарушаются вязкие связи между структурными элементами. Это приводит к образованию микротрещин с различной глубиной и шириной раскрытия [12]. После снятия нагрузки указанные связи не восстанавливаются, а трещины остаются. С увеличением условной вязкости нефтепродуктов показатель выносливости бетона снижается [12, 13]. При изучении выносливости бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий наиболее эффективным направлением анализа является исследование работы физических моделей [14]. В физическом моделировании усталости материала вместо фактически действующих нерегулярных и случайно меняющихся нагружений применяют циклические нагружения с постоянной амплитудой. При этом выявлено статистически значимое различие показателей выносливости бетона, пропитанного нефтепродуктами с неодинаковой вязкостью. В результате исследований [15, 16] выявлены закономерности влияния вязкости нефтепродуктов на выносливость бетона и разработана эмпирическая модель, позволяющая прогнозировать развитие усталостных явлений в несущих бетонных и железобетонных конструкциях. Экспериментальные исследования выносливости позволяют давать оценку остаточной долговечности и составлять прогноз развития усталостного трещинообразования в бетоне [13]. Обоснованный прогноз поведения конструкции является одним из важнейших элементов обеспечения безопасных условий эксплуатации промышленных зданий.

Целью исследования является выявление особенностей влияния нефтепродуктов с различной вязкостью на физико-механические свойства бетона и предложение количественной оценки надежности несущих конструкций по индексу механической безопасности.

Теоретическое и экспериментальное исследование позволило разработать метод количественной оценки технического состояния бетонных несущих конструкций промышленных зданий, где используют или производят нефтепродукты.

2. Методика экспериментального исследования

Для экспериментального исследования изготовлены кубики и призмы из бетона класса В30 ($R_b = 28$ МПа) и цементно-песчаного раствора марки М200 ($R_b = 20$ МПа).

Исследование бетона, пропитанного нефтепродуктами с различной вязкостью, выполнено на основе анализа, обобщения и оценок экспериментальных данных о влиянии нефтепродуктов на деформативные свойства бетона и строительного цементно-песчаного раствора с последующей статистической обработкой полученных результатов, а также сравнения с данными других исследователей.

При осевом сжатии образцов относительный уровень статического напряжения определяется по формуле

$$\sigma_{re} = \frac{\sigma}{R_b}, \quad (1)$$

где σ – текущее напряжение при статической нагрузке осевого сжатия, МПа; R_b – проектное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа.

По результатам анализа данных о выносливости бетонных образцов, пропитанных нефтепродуктами с различной условной вязкостью, а также образцов без пропитки по известным методикам построена линия регрессии и обоснован выбор оптимальной эмпирической формулы.

3. Оценка влияния нефтепродуктов на надежность бетонных и железобетонных несущих конструкций

3.1. Изменения продольных деформаций бетона

Графики изменения продольных деформаций контрольных образцов и образцов, пропитанных керосином, дизельным топливом, индустриальным маслом И-30 и мазутом, представлены на рис. 1.

Продольные деформации исследованных образцов изменяются по нелинейной закономерности. При возрастании осевого нагружения сжатия увеличение продольных деформаций у пропитанных нефтепродуктами образцов менее интенсивно, чем у контрольных образцов. В диаграммах изменения продольных деформаций можно выделить два участка: с относительно малой интенсивностью нарастания деформаций и незначительным разбросом данных и с резким изменением нарастания деформаций и увеличением амплитуды разброса данных.

Анализ изменения продольных деформаций образцов при нагружениях от $\sigma_{re} = 0,054$ до $\sigma_{re} = 0,51$ представлен в табл. 1.

Анализ изменения продольных деформаций образцов при нагружениях от $\sigma_{re} = 0,57$ до $\sigma_{re} = 0,845$ представлен в табл. 2.

Рис. 1. Изменение продольных деформаций при осевом сжатии образцов, пропитанных керосином, дизельным топливом, маслом И-30, мазутом

Fig. 1. Variation of longitudinal strains at the axial compression soaked by lamp kerosene, diesel fuel, petroleum oil I-30, masout M-40

Таблица 1

Изменение продольных деформаций образцов при нагружениях
от $\sigma_{re} = 0,054$ до $\sigma_{re} = 0,51$

Table 1

Change of the longitudinal deformation of the samples during loading
from $\sigma_{re} = 0,054$ to $\sigma_{re} = 0,51$

Тип образцов	Деформации ($\epsilon \cdot 10^{-4}$ мм)			Меньше, чем для контрольных образцов, %
	мин.	макс.	среднее	
Контрольные образцы	0,60	5,70	2,60	—
Пропитанные керосином	0,48	5,00	2,40	8,90
Пропитанные дизельным топливом	0,70	5,60	2,50	5,10
Пропитанные маслом И-30	0,25	5,20	1,94	25,50
Пропитанные мазутом М-40	0,39	4,50	1,94	25,60

Таблица 2

Изменение продольных деформаций образцов при нагружениях
от $\sigma_{re} = 0,57$ до $\sigma_{re} = 0,845$

Table 2

Change in longitudinal deformation of the samples during loading
from $\sigma_{re} = 0,57$ to $\sigma_{re} = 0,845$

Тип образцов	Деформации ($\varepsilon \cdot 10^{-4}$ мм)			Меньше, чем для контрольных образцов, %
	мин.	макс.	среднее	
Контрольные образцы	6,30	15,20	9,80	–
Пропитанные керосином	5,10	17,40	8,90	9,20
Пропитанные дизельным топливом	5,00	15,20	9,30	5,50
Пропитанные маслом И-30	4,50	15,20	8,40	14,30
Пропитанные мазутом М-40	3,90	12,50	7,90	19,70

Анализ диаграмм показывает, что продольные деформации образцов, пропитанных нефтепродуктами с различной вязкостью, изменяются не одинаково при увеличении относительного уровня статической нагрузки σ_{re} . При осевом нагружении образцов, пропитанных нефтепродуктами, продольные деформации ниже, чем при нагружении контрольных образцов. Нефтепродукты в порах образцов оказывает дополнительное сопротивление осевому сжатию цементного камня.

3.2. Изменения поперечных деформаций бетона

Диаграммы изменения поперечных деформаций образцов, пропитанных различными нефтепродуктами, представлены на рис. 2.

Нарастание поперечных деформаций имеет нелинейный характер. Абсолютные значения поперечных деформаций образцов, пропитанных различным нефтепродуктами, неодинаковы и зависят от их вязкости. Разброс экспериментальных данных обусловлен неоднородностью бетонных образцов. Диаграммы можно разделить на два участка:

а) с относительно малой интенсивностью нарастания деформаций и незначительным разбросом данных;

б) с резким изменением нарастания деформаций и увеличением амплитуды разброса данных.

Анализ изменения поперечных деформаций образцов при нагружениях от $\sigma_{re} = 0,054$ до $\sigma_{re} = 0,51$ представлен в табл. 3.

Нелинейный характер изменения поперечных деформаций контрольных образцов обусловлен тем, что при относительно небольших нагрузках в цементном камне образуются отдельные очаги нарушения адгезии цементной матрицы к заполнителю. Увеличение нагрузки приводит к превращению отдельных очагов в микроскопические трещины. По мере нарастания нагрузки микроскопические трещины превращаются в «волосные», которые различимы невооруженным глазом. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к образованию макротрещин, которые стремительно расширяются до разрушения образца.

Рис. 2. Изменение поперечных деформаций при осевом сжатии образцов, пропитанных керосином, дизельным топливом, маслом И-30, мазутом М-40

Fig. 2. Variation of transversal strains at the axial compression soaked by lamp kerosene, diesel fuel, petroleum oil I-30, masout M-40

Таблица 3

Изменение поперечных деформаций образцов при нагружениях
от $\sigma_{re} = 0,054$ до $\sigma_{re} = 0,51$

Table 3

The variation of the transverse deformation of the samples during loading
from $\sigma_{re} = 0,054$ to $\sigma_{re} = 0,51$

Тип образцов	Деформации ($\epsilon \cdot 10^{-4}$ мм)			Больше, чем для контрольных образцов, %
	мин.	макс.	среднее	
Контрольные образцы	0,10	0,80	0,30	—
Пропитанные керосином	0,11	1,23	0,47	36,80
Пропитанные дизельным топливом	0,09	1,15	0,59	72,70
Пропитанные маслом И-30	0,08	1,80	0,73	89,10
Пропитанные мазутом М-40	0,10	2,20	0,76	123,00

Анализ изменения поперечных деформаций образцов при нагружениях от $\sigma_{re} = 0,57$ до $\sigma_{re} = 0,845$ представлен в табл. 4.

Таблица 4

Изменение поперечных деформаций образцов при нагружениях
от $\sigma_{re} = 0,57$ до $\sigma_{re} = 0,845$

Table 4

The variation of the transverse deformation of the samples during loading
from $\sigma_{re} = 0,57$ to $\sigma_{re} = 0,845$

Тип образцов	Деформации ($\varepsilon \cdot 10^{-4}$ мм)			Больше, чем для контрольных образцов, %
	мин.	макс.	среднее	
Контрольные образцы	1,16	5,87	2,15	–
Пропитанные керосином	1,10	5,29	2,52	16,80
Пропитанные дизельным топливом	1,30	6,90	2,97	37,90
Пропитанные маслом И-30	1,51	6,70	3,70	71,30
Пропитанные мазутом М-40	2,30	8,50	4,03	87,40

3.3. Сопоставительный анализ продольных и поперечных деформаций

Изменения продольных деформаций при осевом сжатии бетона обусловлены тем, что нефтепродукты, как несжимаемые жидкости, находящиеся в порах, совместно со скелетом бетона воспринимают часть нагрузки на себя и сдерживают образование деформаций в продольном направлении. В поперечном направлении образцов давление создает распор, приводящий к разрушению скелета бетона.

Полученные данные развивают, дополняют и уточняют результаты исследований других авторов в разные годы [3, 4, 6, 8–10, 15–17].

Совокупность признаков позволяет считать, что важным фактором, влияющим на деформативные свойства бетона, является вязкость пропитывающего нефтепродукта.

3.4. Оценка изменения деформаций бетона, пропитанного нефтепродуктами, с известной условной вязкостью при его статическом сжатии

На основе экспериментальных данных разработаны эмпирические математические модели изменения поперечных и продольных деформаций в зависимости от относительного уровня напряжений от статической осевой нагрузки и условной вязкости нефтепродуктов. Математические модели разработаны методом наименьших квадратов (Ordinary Least Squares). Степень рациональности моделей определена по коэффициенту детерминации R^2 .

Модель для поперечных деформаций имеет вид

$$\lg \varepsilon_{tr}^{im} = \frac{\sigma_{re} - 2,732 + 0,094 \lg(^{\circ}BY)}{0,576}. \quad (2)$$

Модель для продольных деформаций имеет вид

$$\lg \varepsilon_{lo}^{im} = \frac{\lg \sigma_{re} + 0,276 (^\circ \text{BY})^{-0,0152}}{5,988 (^\circ \text{BY})^{-0,0125}}, \quad (3)$$

где σ_{re} – относительный уровень статического напряжения, д.ед.; ε_{tr}^{im} , ε_{lo}^{im} – относительные поперечные и продольные деформации, д.ед.; $(^\circ \text{BY})$ – величина условной вязкости, градусы Энглера ($^\circ \text{E}$).

Анализ результатов расчетов по (2) и (3) и сравнение их с экспериментальными данными показывают, что разработанные эмпирические формулы с точностью $\pm 3-4 \%$ и коэффициентами детерминации $R_{tr}^2 = 0,947$ и $R_{lo}^2 = 0,963$ моделируют изменения соответственно поперечных и продольных деформаций пропитанного различными нефтепродуктами бетона при осевом статическом сжатии.

3.5. Оценка индекса деформативной безопасности

Оценку индекса деформативной безопасности пропитанного нефтепродуктами бетона при осевом статическом нагружении целесообразно производить по формулам:

а) для поперечных деформаций:

$$\beta_{tr} = 1 - \frac{\varepsilon_{tr}^o - \varepsilon_{tr}^{im}}{\varepsilon_{tr}^o}, \quad (4)$$

б) для продольных деформаций:

$$\beta_{lo} = 1 - \frac{\varepsilon_{lo}^o - \varepsilon_{lo}^{im}}{\varepsilon_{lo}^o}, \quad (5)$$

где ε_{tr}^o , ε_{lo}^o – допустимые поперечные и продольные относительные деформации.

Предложенные индексы безопасности по предельным состояниям второй группы представляют собой критерии надежности пропитанных нефтепродуктами несущих бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий.

3.6. Оценка индекса усталости несущих конструкций

Анализ и сопоставление экспериментальных данных с результатами исследований различных авторов [1–4, 6, 8–10, 15–17] показывают, что применение разработанных эмпирических моделей целесообразно для оценки изменения деформаций бетона, пропитанного нефтепродуктами с известной условной вязкостью.

Прогнозирование изменения технического состояния бетонных и железобетонных конструкций, находящихся под воздействием нефтепродуктов, связано с оценкой запаса между воздействием и несущей способностью исследуемых элементов. Оценку выносливости бетонных элементов несущих конструкций, подверженных воздействию нефтепродуктов, предложено производить по индексу усталости, который определяется по формуле

$$\beta = 1 - \frac{\eta_{bn} - \eta_{bf}}{\eta_{bn}}, \quad (6)$$

где η_{bn} – проектный уровень выносливости без воздействия нефтепродуктов; η_{bf} – относительный предел выносливости.

Проектный уровень выносливости определяется по формуле

$$\eta_{bn} = \frac{\sigma_{b\max}}{R_{bn}}, \quad (7)$$

здесь $\sigma_{b\max}$ – максимальное нормальное напряжение в сжатом бетоне, МПа; R_{bn} – проектное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа.

Относительный предел выносливости (усталостной прочности) зависит от количества циклов (N), выдержанных образцами железобетонных балок до разрушения, и вязкости пропитанных ими нефтепродуктов, и определяется по формуле

$$\eta_{bf} = 1,237 - 0,08 \lg(^{\circ}\text{ВУ}) - 0,173 \lg N, \quad (8)$$

где $^{\circ}\text{ВУ}$ – градус условной вязкости нефтепродукта, градусы Энглера $^{\circ}\text{Е}$; N – количество циклов многократно повторяющегося нагружения.

Формула (8) 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.

Заключение

В результате исследования влияния нефтепродуктов с различной вязкостью на деформативные свойства бетона и железобетона выявлены основные механизмы их негативного воздействия.

На основе экспериментальных данных разработаны эмпирические математические модели изменения поперечных и продольных деформаций в зависимости от вязкости пропитавшего нефтепродукта и величины осевого нагружения; указанные модели позволяют оценивать изменение соответственно поперечных и продольных деформаций пропитанного нефтепродуктами бетона коэффициентами детерминации $R_{la}^2 = 0,947$ и $R_{lo}^2 = 0,963$.

В результате выполненного теоретического и экспериментального исследования существенно расширена информация о влиянии нефтепродуктов и их вязкости на деформативные свойства бетона и железобетона. Это позволяет принимать объективные обоснованные инженерные решения по обеспечению безопасных условий эксплуатации промышленных зданий.

Исследования в данном направлении продолжаются.

Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Библиографический список

1. Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на эксплуатационные качества железобетонных конструкций // Известия КазГАСУ. – 2008. – № 1 (9). – С. 137–140.
2. Воробьев А.А., Казаков А.С. Стойкость строительных конструкций при эксплуатации в промышленных зданиях при воздействии на них нефтепродуктов // Вестник РУДН. Инженерные исследования. – 2010. – № 2. – С. 32–35.
3. Błaszczyski T.Z. The influence of crude oil products on RC structure destruction // Journal of Civil Engineering and Management. – 2011. – URL: <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.561522>.
4. Jasim A.T., Jawad F.A. Effect of oil on strength of normal and high performance concrete // Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences. – 2017. – № 3 (1). – P. 24–32.
5. Abdul Ahad R.B., Mohammed A.A. Compressive and tensile strength of concrete loaded and soaked in crude oil // Engineering Journal of Qatar University. – 2000. – URL: <http://hdl.handle.net/10576/7895>.
6. Пермякова В.В., Лебедева Н.А., Пожиткова О.А. Исследование состояния бетонных и железобетонных конструкций, подверженных воздействию отработанного масла // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2000. – Т. 237. – С. 18–24.
7. Svintsov A.P., Nikolenko Yu.V., Kazakov A.S. Effect of viscosity of petroleum products on deformation properties of concrete // Magazine of Civil Engineering. – 2014. – Vol. 51 (7). – P. 16–22. DOI: 10.5862/MCE.51.2
8. Воробьев А.А., Басов Ю.К. Деформации при кратковременном осевом сжатии пропитанного нефтепродуктами бетона // Конструкции из композиционных материалов. – 2008. – № 4. – С. 88–95.
9. Васильев Н.М. Деформативность пропитанного нефтепродуктами бетона // Бетон и железобетон. – 1988. – № 12. – С. 10–11.
10. Воробьев А.А., Саид Мохамед. Влияние нефтепродуктов на некоторые деформативные свойства бетона при кратковременном нагружении // Бетон и железобетон. – 2003. – № 6. – С. 18–20.
11. Свинцов А.П., Гамал Т.С.Ф., Шумилин Е.Е. Влияние минерального и растительного масла на деформативные свойства бетона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 245–253.
12. Глазунов Ю.В. Особенности механики разрушения бетона при многократно повторяющемся действии нагрузки // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. ст. – Харьков, 2003. – С. 34–38.
13. 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.
14. Мирсаяпов И.Т. Физические модели усталостного сопротивления железобетонных изгибаемых элементов действию поперечных сил // Известия КазГАСУ. – 2006. – № 1 (5). – С. 82–86.
15. Свинцов А.П., Николенко Ю.В., Казаков А.С. Оценка выносливости пропитанных нефтепродуктами бетонных и железобетонных несущих конструкций // Вестник РУДН. Инженерные исследования. – 2014. – № 4. – С. 35–40.

16. Свинцов А.П., Николенко Ю.В., Казаков А.С. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на промышленных зданиях при негативном воздействии нефтепродуктов на бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Изд-во РУДН, 2015. – 168 с.

References

1. Jusupova Ju.F. Vlijanie mineral'nyh masel na jekspluacionnye kachestva zhelezobetonnyh konstrukcij [Influence of petroleum oil on the performance of reinforced concrete structures]. *Izvestija KazGASU*, 2008, no. 1 (9), pp. 137-140.
2. Vorob'ev, A.A., Kazakov, A.S. Stojkost' stroitel'nyh konstrukcij pri jekspluacii v promyshlennyh zdaniyah pri vozdejstvii na nih nefteproduktov [Durability of building structures at operation in industrial buildings when exposed to petroleum products]. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*, 2010, no. 2, pp. 32-35.
3. Błaszczński T.Z. The influence of crude oil products on RC structure destruction. *Journal of Civil Engineering and Management*. Published online (2011). <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.561522>
4. Jasim A.T., Jawad F.A. Effect of oil on strength of normal and high performance concrete. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 2017, no. 3 (1), pp. 24-32.
5. Abdul Ahad R.B., Mohammed A.A. Compressive and tensile strength of concrete loaded and soaked in crude oil. *Engineering Journal of Qatar University*, 2000. <http://hdl.handle.net/10576/7895>
6. Permiakova V.V., Lebedeva N.A., Pojhitkova O.A. Issledovanie sostojanija betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij, podverzhennyh vozdejstviu otrabotannogo masla [Research of the condition of concrete and reinforced concrete structures exposed to waste petroleum oil]. *Izvestija Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotehniki im. B.E. Vedeneeva*, 2000, vol. 237, pp. 18-24.
7. Svintsov A.P., Nikolenko Yu.V., Kazakov A.S. Effect of viscosity of petroleum products on deformation properties of concrete. *Magazine of Civil Engineering*, 2014, vol. 51 (7), pp. 16-22. DOI: 10.5862/MCE.51.2
8. Vorobiev A.A., Basov Y.K. Deformacii pri kratkovremennom osevom szhatii propitanogo nefteproduktami betona [Deformation of petroleum-soaked concrete at the short axial compression]. *Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov*, 2008, no. 4, pp. 88-95.
9. Vasil'ev N.M. Deformativnost' propitannogo nefteproduktami betona [Deformability of petroleum-soaked concrete]. *Beton i zhelezobeton*, 1988, no. 12, pp. 10-11.
10. Vorob'ev A.A., Said Mohamad. Vlijanie nefteproduktov na nekotorye deformativnye svojstva betona pri kratkovremennom nagruzhении [Influence of petroleum products on some deformation properties of concrete under short-term loading]. *Beton i zhelezobeton*, 2003, no. 6, pp. 18-20.
11. Svintsov A.P., Gamal T.S.F., Shumilin E.E. Vlijanie mineral'nogo i rastitel'nogo masla na deformativnye svojstva betona [Effect of mineral and vegetable oil on deformation properties of concrete]. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*, 2017, no. 18 (2), pp. 245-253.
12. Glazunov Ju.V. Osobennosti mehaniki razrusheniya betona pri mnogokratno povtorjajushhemsja dejstvii nagruzki [Features of concrete failure at multiple repeated load]. *Kommunal'noe hozjajstvo gorodov: nauchno-tehnicheskij sbornik statej*. Kharkov, 2003, pp. 34-38.

13. Koltsun Y.I., Khibnik T.A. Metodika rascheta perioda rosta ustalostnoj treshhiny i ee graficheskoe obobshhenie [Methods of calculating the period of fatigue crack growth and its graphic generalization]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova*, 2009, no. 3-2, pp. 70-79.

14. Mirsajapov I.T. Fizicheskie modeli ustalostnogo soprotivlenija zhelezobetonnyh izgi-baemyh jelementov dejstviju poperechnyh sil [Physical models of the fatigue resistance of reinforced concrete flexural elements to the share forces]. *Izvestija KazGASU*, 2006, no. 1 (5), pp. 82-86.

15. Svintsov, A.P., Nikolenko, Yu.V., Kazakov, A.S. Ocenka vyнослиvosti propitannyh nefteproduktami betonnyh i zhelezobetonnyh nesushhih konstrukcij [Endurance Assessment of the Concrete and Reinforced Concrete Load-Bearing Structures, Impregnated by Petroleum]. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovanija*, 2014, no. 4, pp. 35-40.

16. Svintsov A.P., Nikolenko Yu.V., Kazakov A.S. Prognozirovanie chrezvychajnyh situacij na promyshlennyh zdaniyah pri negativnom vozdejstvii nefteproduktov na betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Forecasting of emergency situations at industrial buildings with a negative impact by petroleum products on concrete and reinforced concrete structures]. Moscow, RUDN, 2015, 168 p.