



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.10
УДК 69.07

ВЛИЯНИЕ МАСЛЯНИСТЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

А.П. Свинцов¹, С.Л. Шамбина¹, Р.С. Федюк²

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 27 июля 2018
Принята: 28 ноября 2018
Опубликована: 29 марта 2019

Ключевые слова:

бетон, маслянистые жидкости, деформативные свойства, вязкость, безопасность.

АННОТАЦИЯ

Одной из особенностей функционирования многих промышленных зданий является производство или использование в технологических процессах маслянистых жидкостей – растительных или минеральных масел и нефтепродуктов. Маслянистые жидкости систематически попадают на бетонные и железобетонные конструкции и пропитывают их. Это приводит к ухудшению и изменению физико-механических характеристик бетона и железобетона (прочности, усталости материала, выносливости, деформативности). Несмотря на то что было проведено много исследований, техническая значимость проблемы обширна и требует дополнительного изучения.

Влияние растительного и минерального масла на деформативные свойства бетона в настоящее время изучено не в полной мере.

Целью исследования является изучение зависимости изменения деформаций бетона и цементно-песчаного раствора от вязкости пропитавшего его минерального (индустриальное масло I-30А) и растительного (кукурузное, оливковое) масла. Имеющиеся в настоящее время рекомендации по их оценке не учитывают вязкость масел и нефтепродуктов. Это сдерживает возможности решения задач оценки надежности несущих бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий, в которых производят или используют растительное или минеральное масло и нефтепродукты.

В результате исследования влияния маслянистых жидкостей с различной вязкостью на деформативные свойства бетона и цементно-песчаного раствора установлены закономерности их изменения. Разработаны эмпирические математические модели для прогнозирования деформаций бетона в зависимости от вязкости масла.

Полученные результаты позволяют давать оценку технической безопасности несущих бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий, в которых производят или используют растительное или минеральное масло.

Исследования физико-механических свойств пропитанного маслом бетона продолжаются.

© ПНИПУ

© **Свинцов Александр Петрович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: svintsovap@rambler.ru.

Шамбина Светлана Львовна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: shambina_sl@mail.ru.

Федюк Роман Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: roman44@yandex.ru.

Alexander P. Svintsov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: svintsovap@rambler.ru.

Svetlana L. Shambina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: shambina_sl@mail.ru.

Roman S. Fediuk – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: roman44@yandex.ru.

EFFECT OF OILY LIQUIDS ON DEFORMATION PROPERTIES OF CONCRETE

A.P. Svintsov¹, S.L. Shambina¹, R.S. Fediuk²

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 27 July 2018
Accepted: 28 November 2018
Published: 29 March 2019

Keywords:

concrete, oily liquids, deformative properties, viscosity, safety.

ABSTRACT

One of the features for functioning of many industrial buildings is production or usage of oily liquids in the technological processes. These oily liquids such as vegetable or mineral oils and petroleum products can systematically fall onto the concrete and reinforced concrete structures and impregnate them. This leads to deterioration and changes in concrete's and reinforced concrete's physical and mechanical characteristics such as strength, material fatigue, endurance, deformability and some others. Despite the fact that many studies have already been carried out, the technical significance of the problem is extensive and still requires additional research.

Influence of vegetable and mineral oils on the deformative properties of concrete has not been fully studied yet.

The purpose of the research is to study the dependence of changes in the deformation of concrete and cement-sand mortar on the viscosity of the mineral oil (industrial oil I-30A) and vegetable oil (corn and olive oil). The currently available recommendations for the evaluation of these changes do not take into account the viscosity of oils and petroleum products. This holds out the possibility to solve the problems of assessing the reliability of the bearing concrete and reinforced concrete structures of industrial buildings where vegetable or mineral oils and petroleum products are produced or used.

As a result of the research the influence of oily liquids with different viscosity on the deformative properties of concrete and cement-sand solution has been studied, and the laws of their changes have been established. Empirical mathematical models have been developed to predict deformations in concrete depending on the oil's viscosity.

The obtained results allow assessing the technical safety of the bearing concrete and reinforced concrete structures of industrial buildings in which vegetable or mineral oils are produced or used.

The researches of physical and mechanical properties of concrete impregnated with oil are being continued.

© PNRPU

Введение

Бетонные и железобетонные несущие конструкции промышленных зданий характеризуются большой надежностью, которую невозможно оценить на основе анализа статистических данных об отказах, как в электронике или машиностроении. Негативное воздействие масла на бетон и железобетон приводит к снижению надежности несущих конструкций промышленных зданий соответствующего назначения. Уже обследовано и установлено повреждение многих бетонных и железобетонных конструкций. Маслянистые жидкости влияют на перекрытия промышленных зданий, полы хранения, фундаменты для машин и нефтехранилищ и т.д. Пропитывание бетона маслянистыми жидкостями приводит к изменению деформативных свойств материала, из которого несущие конструкции изготовлены.

1. Анализ публикаций научно-технической информации

При проектировании железобетонных конструкций основными задачами являются обеспечение прочности и эксплуатационной надежности. Проведен анализ широкого спектра экспериментальных баз данных и эмпирических моделей для оценки модуля упругости от прочности на сжатие и плотности бетона до верификации предложенной модели [1]. Исследованы механические свойства модуля упругости, прочности на растяжение и кривой напряжения – деформации сжатия (σ – ε) [2]. Целью исследования [3] является изучение

влияния нефти (керосин, газойль и сырая нефть) на прочность на сжатие и растяжение высокоэффективного бетона. Результаты показали, что прочность уменьшалась со снижением вязкости нефти в течение всего периода воздействия. Исследовано влияние минерального масла на пропитанные бетонные каркасные фундаменты, используемые для крупногабаритных машин. Агрессивное воздействие нефти приводит к снижению сопротивления осевому сжатию для обычного и высокопрочного бетона на 17 и 11,8 % соответственно. Ключевую роль в формировании сопротивления сжатию пропитанного минеральным маслом и нефтепродуктами бетона играют пористость и проницаемость [4]. Взаимодействие модуля упругости бетона и трещиностойкости оказывает существенное влияние на критическую длину микротрещины [5].

В целях охраны и безопасности окружающей среды в современной строительной практике в качестве сырья в цементе и бетоне используются промышленные и сельскохозяйственные отходы и побочные продукты [6], а также загрязненный нефтью песок. Проведены исследования пригодности и прочностных свойств бетона, в качестве заполнителя которого используется ядро масличной пальмы. Выявлены особенности влияния изменяющегося содержания песка и оболочки ядра пальмы, а также минеральных примесей на прочность на сжатие и модуль упругости. Содержание песка влияет как на модуль упругости, так и на прочность при сжатии [7]. Рассмотрено воздействие загрязненного нефтью песка на прочность бетона на сжатие. При загрязнении 2,5–25 % прочность на сжатие 18–90 % была потеряна. Песок, содержащий более 5 % загрязнения сырой нефтью, снижает прочность бетона на сжатие более чем на 50 % [8].

Исследованиями влияния на бетон минерального масла И-30, топочного мазута, дизельного топлива, осветительного керосина, бензина А-80 [9] выявлены особенности изменения его деформативных свойств. Эти изменения заключаются в том, что при осевом сжатии продольные деформации уменьшаются, а поперечные – увеличиваются. Однако в представленных работах влияние растительного масла на свойства бетона не отражено.

Исследованиями [10, 11] установлены закономерности влияния вязкости нефтепродуктов на деформативность пропитанного ими бетона. При экспериментальном исследовании установлены причинно-следственные связи между деформативными свойствами бетона и вязкостью минерального и растительного масла [12].

Анализ публикаций научно-технической информации показывает, что изучению изменения деформаций бетона под влиянием различных факторов посвящены многие исследования. Однако выполненные ранее исследования закономерности формирования деформаций бетона и цементно-песчаного раствора, пропитанного растительным маслом, не выявили. Используемые на промышленных предприятиях масла и нефтепродукты неодинаково влияют на деформативность бетонных и железобетонных конструкций, так как имеют различную вязкость. В анализируемых работах влияние минеральных и растительных масел и нефтепродуктов на деформативные свойства бетона и железобетона исследовано не в полной мере. Имеющиеся в настоящее время рекомендации по их оценке не учитывают вязкость масел и нефтепродуктов. Это сдерживает возможности решения задач оценки надежности несущих бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий.

Целью исследования является изучение особенностей влияния вязкости маслянистых жидкостей на деформативные свойства бетона и цементно-песчаного раствора.

В результате исследования влияния растительного и минерального масла с различной вязкостью на деформативные свойства бетона и цементно-песчаного раствора установлены закономерности их изменения. Разработаны эмпирические математические модели для прогнозирования деформаций бетона в зависимости от вязкости масла.

1. Методы исследования

Из бетонной смеси (бетон класса В30) изготовлены 18 единиц стандартных призм (70×70×280). Образцы выдержаны в камере нормального твердения в течение 28 сут.

После набора проектной прочности образцы разделены на группы:

- а) контрольные образцы – по 3 призмы из бетона и цементно-песчаного раствора;
- б) по 5 призм из бетона и цементно-песчаного раствора, пропитанных соответственно минеральным маслом И-30А, оливковым маслом, кукурузным маслом.

Свойства нефтепродуктов и растительных масел приняты по справочным данным [13, 14]. Условная вязкость растительных масел определена по таблице перевода секунд Сейболта в градусы Энглера [15].

Для насыщения образцы помещены в емкости, которые заполнены растительным (оливковое, кукурузное) и минеральным маслом (индустриальное И-30А) соответственно. В указанных условиях образцы выдержаны до насыщения при комнатной температуре от 16 до 24° С. По мере поглощения масло в емкости доливали. Образцы были взвешены перед началом насыщения маслом. Точность измерения массы образца принята не менее ±0,5 г. Контроль степени насыщения выполнен взвешиванием образцов один раз в семь суток. Прекращение увеличения массы образца при двух последующих взвешиваниях принято определяющим признаком полного насыщения.

В рамках экспериментального исследования определены продольные (ϵ_{long}) и поперечные (ϵ_{tran}) деформации контрольных и пропитанных маслом образцов. Математическая обработка экспериментальных данных выполнена по известным методикам математической статистики. Это позволило получить статистически значимые результаты экспериментов с надежностью не ниже $\alpha = 0,90$.

Уровень относительного статического напряжения определялся по формуле

$$\sigma_{\text{ге}} = \sigma/R_b, \quad (1)$$

где σ – текущее напряжение от нагрузки осевого сжатия, МПа; R_b – проектная прочность образца на осевое сжатие, МПа.

Исследование деформаций выполнено в диапазоне изменения относительного статического напряжения от $\sigma_{\text{ге}} = 0,054$ до $\sigma_{\text{ге}} = 0,845$ без разрушения образцов. При уровне относительного статического напряжения $\sigma_{\text{ге}} \geq 0,950$ поперечные деформации приводили к образованию открытых трещин и сколов на образцах. Этим обусловлено верхнее значение $\sigma_{\text{ге}} = 0,845$, как условие неразрушения.

К анализу приняты результаты исследований, выполненные другими авторами [1–4, 7–12]. Диаграммы изменения деформаций в зависимости от напряжения при осевом сжатии использованы при анализе экспериментальных данных. С применением метода регрессионного анализа разработаны эмпирические математические модели.

Использование представленных материалов для экспериментального исследования, а также методов математической обработки и анализ полученных данных позволили

уточнить причинно-следственные связи в аспекте влияния растительного и минерального масла на деформативные свойства пропитанного ими бетона и цементно-песчаного раствора.

2. Результаты экспериментального исследования

2.1. Исследование поперечных деформаций образцов при осевом сжатии

Диаграмма изменения поперечных деформаций образцов, пропитанных оливковым маслом, представлена на рис. 1.

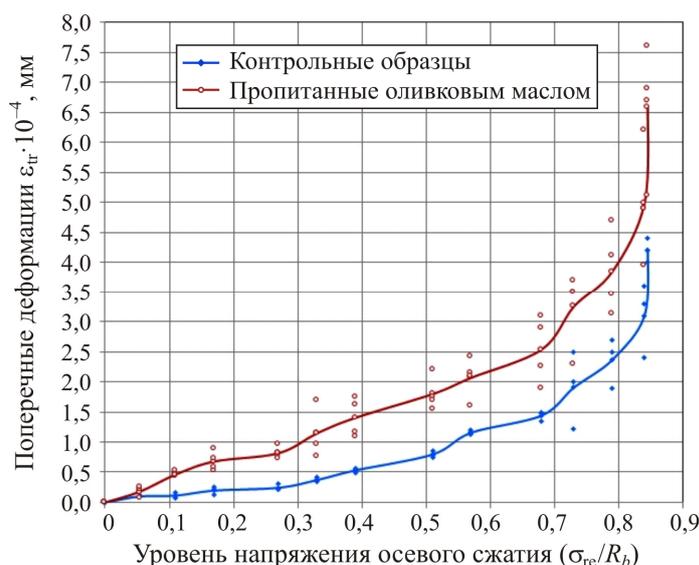


Рис. 1. Изменение поперечных деформаций образцов, пропитанных оливковым маслом

Fig. 1. Change in the transverse deformations of samples impregnated with olive oil

В диапазоне нагрузений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$ поперечные деформации контрольных образцов изменяются от $0,1 \times 10^{-4}$ до $0,8 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,3 \times 10^{-4}$ мм. При этом интенсивность нарастания поперечных деформаций составляет в среднем $0,05 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. В диапазоне нагрузений от $0,51\sigma/R_b$ до $0,845\sigma/R_b$ поперечные деформации контрольных образцов изменяются от $1,16 \times 10^{-4}$ до $4,4 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $2,94 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций составляет в среднем $0,42 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 8,4 раза больше нарастания поперечных деформаций в диапазоне нагрузения от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$.

В диапазоне нагрузений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов, пропитанных оливковым маслом, изменяются от $0,18 \times 10^{-4}$ до $1,74 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,93 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций образцов, пропитанных оливковым маслом, составляет $0,15 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 3,1 раза выше, чем для поперечных деформаций контрольных образцов в данном диапазоне нагрузений. В диапазоне нагрузений от $0,51\sigma/R_b$ до $0,845\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов, пропитанных оливковым маслом, изменяются от $1,54 \times 10^{-4}$ до $7,6 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $3,88 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций в данном диапазоне составляет в среднем $0,55 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 3,6 раза выше, чем в диапазоне нагру-

жений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$, и в 1,6 раза выше, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

На рис. 2 представлена диаграмма изменения поперечных деформаций образцов, пропитанных кукурузным маслом.

В диапазоне нагружений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов, пропитанных кукурузным маслом, изменяются от $0,14 \times 10^{-4}$ мм до $1,9 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,93 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций образцов, пропитанных кукурузным маслом, составляет в среднем $0,11 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 2,2 раза выше, чем для поперечных деформаций контрольных образцов в данном диапазоне нагружений. В диапазоне нагружений от $0,51\sigma/R_b$ до $0,845\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов изменяются от $1,12 \times 10^{-4}$ до $6,9 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $3,8 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций в данном диапазоне составляет в среднем $0,54 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 4,9 раза выше, чем в диапазоне нагружений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$, и в 1,6 раза выше, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

На рис. 3 представлена диаграмма изменения поперечных деформаций образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А.

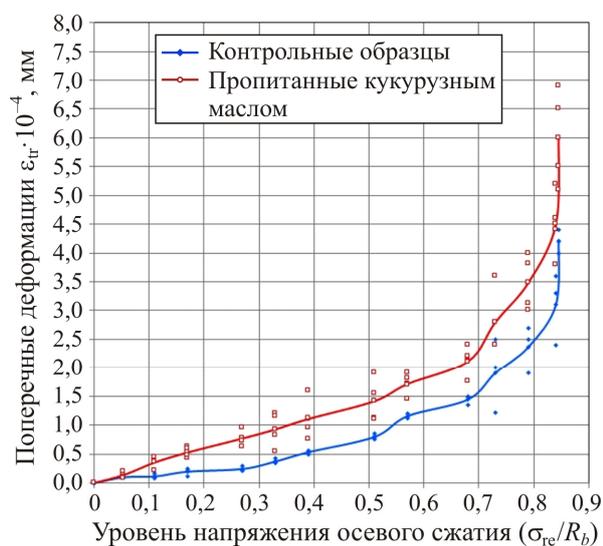


Рис. 2. Изменение поперечных деформаций образцов, пропитанных кукурузным маслом

Fig. 2. Changing the transverse deformation of the sample impregnated with corn oil

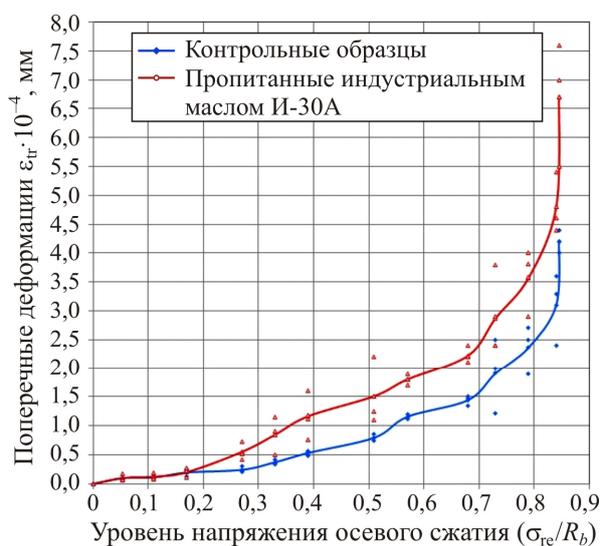


Рис. 3. Изменение поперечных деформаций образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А

Fig. 3. Change in transverse deformations of samples impregnated with industrial oil I-30A

В диапазоне нагружений от $0,054\sigma/R_b$ до $0,51\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А, изменяются от $0,10 \times 10^{-4}$ до $2,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,73 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30, составляет $0,10 \times 10^{-4}$ мм на $0,1\sigma/R_b$. Это в 1,97 раза выше, чем для поперечных деформаций контрольных образцов в данном диапазоне нагружений. В диапазоне нагружений от $0,51\sigma/R_b$ до $0,845\sigma/R_b$ поперечные деформации образцов изменяются от $1,1 \times 10^{-4}$ до $7,6 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $3,4 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания поперечных деформаций в данном диапазоне составляет

в среднем $0,48 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это в 4,9 раза выше, чем в диапазоне нагружений от $0,054 \sigma/R_b$ до $0,51 \sigma/R_b$, и 1,4 раза выше, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

Анализ диаграмм показывает, что поперечные деформации контрольных и пропитанных различным маслом образцов изменяются по одинаковой закономерности. Нарастание поперечных деформаций имеет нелинейный характер. Абсолютные значения поперечных деформаций образцов, пропитанных различным маслом, неодинаковы и зависят от его вязкости. Разброс экспериментальных данных обусловлен неоднородностью бетонных образцов. При осевом сжатии поперечные деформации у пропитанных маслом образцов на 140–490 % больше, чем у контрольных образцов.

Закономерности изменения поперечных деформаций образцов, пропитанных маслом, обусловлены тем, что маслянистые жидкости, заполнившие поры, являются несжимаемыми и передают нагрузку на скелет затвердевшей цементной пасты во всех направлениях. При этом передача нагрузки враспор приводит к разрушению скелета бетона, проявляющемуся в начальной стадии в виде микротрещин, которые увеличиваются по мере нагружения [5].

Совокупность признаков позволяет считать, что масло, пропитывающее бетонные и цементно-песчаные образцы, оказывает влияние на их деформативные свойства. При этом значения величины поперечной деформации пропитанных маслом образцов отличаются между собой и неодинаковы для каждого вида масла. Это позволяет считать, что важным фактором, влияющим на деформативные свойства бетона, является вязкость пропитывающего его масла.

2.2. Разработка и верификация эмпирических математических моделей изменения поперечных деформаций

На основе результатов выполненного экспериментального исследования и с учетом анализа данных о влиянии растительного масла на деформативные свойства бетона разработаны эмпирические математические модели изменения поперечных деформаций при различных уровнях нагрузки осевого сжатия, которые происходят по следующим закономерностям:

◆ кукурузное масло:

$$\sigma_{re} = 2,640 + 0,5671g\varepsilon_{tran}; \quad (2)$$

◆ оливковое масло:

$$\sigma_{re} = 2,634 + 0,5671g\varepsilon_{tran} \quad (3)$$

где σ_{re} – относительный уровень статического напряжения, д. ед.; ε_{tran} – относительные поперечные деформации, д. ед.

Предложенные модели валидны с коэффициентом детерминации не менее $R^2 = 0,95$ в диапазоне осевой нагрузки сжатия от $\sigma_{re} = 0,1R_b$ до $\sigma_{re} = 0,9R_b$ и условной вязкости от $V = 1,1$ °Е до $V = 26$ °Е.

Верификация математических моделей выполнена сравнением расчетных и фактических числовых значений деформаций. Отклонение не превысило $\pm 3,9$ %. Это ниже значения ошибки, принятой в плане эксперимента.

2.3. Исследование продольных деформаций образцов, пропитанных маслом

На рис. 4 представлена диаграмма изменения продольных деформаций контрольных образцов и образцов, пропитанных оливковым маслом.

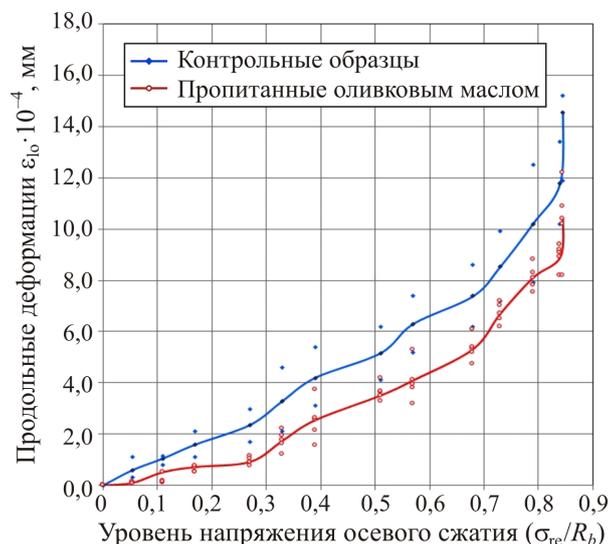


Рис. 4. Изменение продольных деформаций образцов, пропитанных оливковым маслом
Fig. 4. Changing the longitudinal deformations of samples impregnated with olive oil

В диапазоне нагружения от $0,054 \sigma/R_b$ до $0,51 \sigma/R_b$ продольные деформации контрольных образцов изменяются от $0,6 \times 10^{-4}$ до $4,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $1,8 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций составляет в среднем $0,4 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. В этом же диапазоне нагружений продольные деформации образцов, пропитанных оливковым маслом, колеблются от $0,1 \times 10^{-4}$ до $4,1 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,8 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций образцов, пропитанных оливковым маслом, составляет в среднем $0,14 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 45 % ниже, чем у контрольных образцов в этом диапазоне.

В диапазоне нагружения от $0,51 \sigma/R_b$ до $0,845 \sigma/R_b$ продольные деформации контрольных образцов изменяются от $4,2 \times 10^{-4}$ до $15,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $10,3 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций контрольных образцов в указанном диапазоне нагружений составляет в среднем $1,1 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. В диапазоне нагружения от $0,51 \sigma/R_b$ до $0,845 \sigma/R_b$ продольные деформации образцов, пропитанных оливковым маслом, колеблются от $3,3 \times 10^{-4}$ до $12,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $6,7 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций контрольных образцов в указанном диапазоне нагружений составляет в среднем $0,73 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 67 % ниже, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

Диаграмма изменения продольных деформаций образцов, пропитанных кукурузным маслом, представлена на рис. 5.

В диапазоне нагружения от $0,054 \sigma/R_b$ до $0,51 \sigma/R_b$ продольные деформации образцов, пропитанных кукурузным маслом, изменяются от $0,1 \times 10^{-4}$ до $3,7 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,66 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций составляет в среднем $0,13 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 37 % ниже, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

В диапазоне нагружения от $0,51 \sigma/R_b$ до $0,845 \sigma/R_b$ продольные деформации образцов, пропитанных кукурузным маслом, изменяются от $2,75 \times 10^{-4}$ до $11,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $5,76 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций контрольных образцов в указанном диапазоне нагружений составляет в среднем $0,72 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 63 % ниже, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

На рис. 6 представлена диаграмма продольных деформаций образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А.

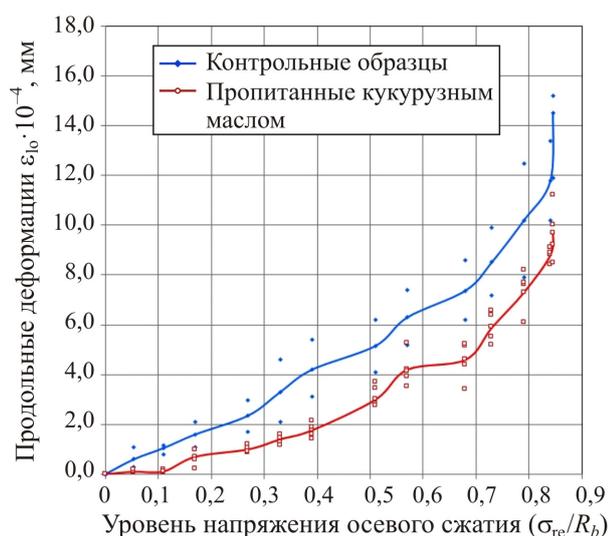


Рис. 5. Изменение продольных деформаций образцов, пропитанных кукурузным маслом
Fig. 5. Changing the longitudinal deformations of samples impregnated with corn oil

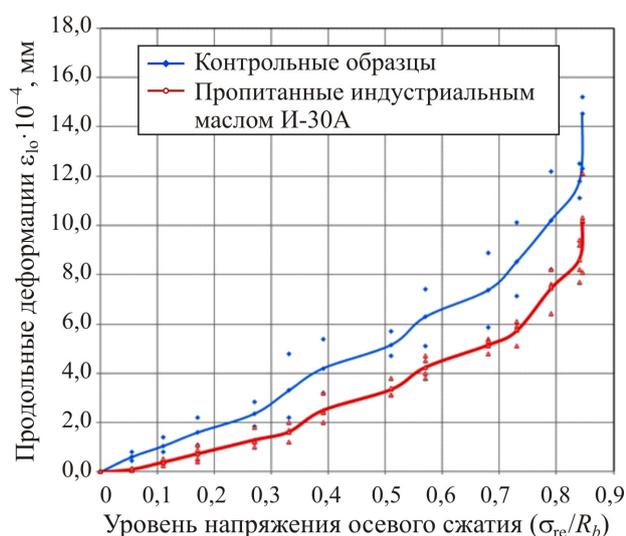


Рис. 6. Изменение продольных деформаций образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А
Fig. 6. Altering the longitudinal deformations of samples impregnated with industrial oil I-30A

В диапазоне нагружения от $0,054 \sigma/R_b$ до $0,51 \sigma/R_b$ продольные деформации образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А, изменяются от $0,1 \times 10^{-4}$ до $3,8 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $0,83 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность изменения продольных деформаций в данном диапазоне нагружений составляет $0,17 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 53 % ниже, чем у контрольных образцов в этом диапазоне нагружений.

В диапазоне нагружения от $0,51 \sigma/R_b$ до $0,845 \sigma/R_b$ продольные деформации образцов, пропитанных индустриальным маслом И-30А, изменяются от $3,10 \times 10^{-4}$ до $12,2 \times 10^{-4}$ мм при среднем значении $6,0 \times 10^{-4}$ мм. Интенсивность нарастания продольных деформаций составляет в среднем $0,66 \times 10^{-4}$ мм на $0,1 \sigma/R_b$. Это на 52 % ниже, чем для контрольных образцов данного диапазона нагружений.

Анализ диаграмм показывает, что продольные деформации исследованных образцов изменяются по нелинейной закономерности. При возрастании осевого сжатия увеличение продольных деформаций у пропитанных маслом образцов менее интенсивно, чем у контрольных образцов. Продольные деформации у пропитанных маслом образцов в среднем на 52 % меньше, чем у контрольных образцов. Масло в порах образцов оказывает дополнительное сопротивление осевому сжатию. В направлении осевого сжатия масло совместно со скелетом затвердевшей цементной пасты воспринимает давление и сдерживает развитие продольных деформаций.

2.4. Разработка и верификация эмпирических математических моделей изменения продольных деформаций

На основе результатов выполненного экспериментального исследования и с учетом данных анализа влияния масла на деформативные свойства бетона разработаны эмпирические математические модели изменения его продольных деформаций. Модели изменения продольных деформаций пропитанных маслом образцов при осевом статическом нагружении сжатия имеют вид:

♦ кукурузное масло:

$$\lg\sigma_{re} = 1,824 + 0,6531\lg\varepsilon_{long}, \quad (4)$$

♦ оливковое масло:

$$\lg\sigma_{re} = 1,820 + 0,6511\lg\varepsilon_{long} \quad (5)$$

где σ_{re} – относительный уровень статического напряжения, д. ед.; ε_{long} – относительные продольные деформации, д. ед.

Предложенные модели валидны с коэффициентом детерминации не менее $R^2 = 0,95$ в диапазоне осевого сжатия от $\sigma_{re} = 0,1R_b$ до $\sigma_{re} = 0,9R_b$ и условной вязкости от $V = 1,1$ °Е до $V = 26$ °Е.

Верификация эмпирических математических моделей выполнена сравнением расчетных и фактических данных измерений. Установлено, что наибольшее отклонение не превышало $\pm 4,4$ %. Это ниже показателя ошибки, принятого при планировании эксперимента.

2.5. Обобщение результатов экспериментального исследования

Разработанные эмпирические математические модели позволяют прогнозировать изменение деформаций цементно-песчаного раствора и бетона, пропитанных растительным (оливковое, кукурузное) и минеральным (индустриальное И-30А) маслом, в фактических условиях эксплуатации при известных осевых статических нагрузках.

В результате экспериментального исследования установлено, что с повышением вязкости масла возрастает эффект снижения продольных и увеличения поперечных деформаций пропитанного бетона. У бетона, пропитанного маслом, поры заполнены несжимаемой жидкостью. Вязкая и практически несжимаемая жидкость, заполнившая поры и капилляры, воспринимает часть осевой нагрузки сжатия. Вследствие этого явления деформации затвердевшей цементной пасты в направлении действия силы сжатия меньше, чем у контрольных образцов.

В начале нагружения проявляются локальные микропластические деформации и микротрещины, которые постепенно разрастаются. Из существующих пор пропитавшее бетон масло проникает в образовавшиеся микротрещины. Скорость заполнения микротрещин маслом в значительной степени зависит от его вязкости. Постепенное накопление трещин различной величины и направленности приводит к деструктивным явлениям несущих бетонных и железобетонных конструкций [5].

Анализ и сопоставление полученных данных с результатами исследования других авторов в разные годы [1–4, 7–12] показывает, что применение разработанных эмпирических математических моделей целесообразно для оценки изменений бетона, пропитанного растительным и минеральным маслом с известной условной вязкостью.

Анализ экспериментальных данных показывает, что растительные и минеральные масла, заполнившие поры и капилляры бетона, оказывают существенное влияние на его деформативные свойства. Это необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации несущих элементов конструкций зданий, где производят или используют в технологических процессах растительное или минеральное масло.

Заключение

На основе анализа и обобщения результатов исследования сделаны следующие выводы:

1. Деформативные свойства бетона при осевом сжатии находятся в зависимости от пропитавшего его масла.

2. Вязкость масла определяет особенности его влияния на деформативные свойства бетона.

3. Установлены закономерности изменения деформативных характеристик бетона в зависимости от вязкости пропитавшего его масла. Разработаны эмпирические математические модели изменения поперечных и продольных деформаций пропитанного маслом бетона при его осевом сжатии. Модели валидны с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,95$ в диапазоне осевого сжатия $\sigma_{\text{те}} = (0,1-0,9) R_b$ при вязкости масла от $V = 1,1$ °Е до $V = 26,0$ °Е. Верификация моделей показала, что отклонение расчетных и экспериментальных значений не превышает $\pm 4,4$ %.

4. Полученные результаты могут быть использованы при решении инженерных задач обеспечения надежности несущих бетонных конструкций промышленных зданий.

5. Исследования влияния масла с различной вязкостью на деформативные свойства бетона продолжаются.

The publication was prepared with the support of the «RUDN University Program 5-100».

Библиографический список

1. Vakhshouri B., Nejadi S. Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete // *Front. Struct. Civ. Eng.* – 2018. – № 1–11. DOI: 10.1007/S11709-018-0479-1
2. Aslani F., Nejadi S. Mechanical properties of conventional and selfcompacting concrete: An analytical study // *Constr. Build. Mater.* – 2012. – № 36. – P. 330–347. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.034
3. 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.
4. Kameche Z.A., Ghomari F., Choinska M., Khelidj A. Assessment of liquid water and gas permeabilities of partially saturated ordinary concrete // *Constr. Build. Mater.* – 2014. – № 65. – P. 551–565. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2014.04.137
5. Simon K.M., Kishen J.M.C. A multiscale model for post-peak softening response of concrete and the role of microcracks in the interfacial transition zone // *Archive of Applied Mechanics.* – 2018. – P. 1–15. DOI: 10.1007/s00419-018-1361-2
6. Self-compacting concrete using pretreated rice husk ash / R.S. Fediuk, V.S. Lesovik, A.P. Svintsov, A.V. Mochalov, S.V. Kulichkov, N.Y. Stoyushko, N.A. Gladkova, R.A. Timokhin // *Magazine of Civil Engineering.* – 2018. – № 3. – P. 66–76. DOI: 10.18720/MCE.79.7

7. Mo K.H., Alengaram U.J., Jumaat M.Z. Utilization of ground granulated blast furnace slag as partial cement replacement in lightweight oil palm shell concrete // *Mater. Struct.* – 2015. – № 48 (8). – P. 2545–2556. DOI: 10.1617/s11527-014-0336-1
8. Effect of crude oil impacted sand on compressive strength of concrete / W.O. Ajagbe, O.S. Omokehinde, G.A. Alade, O.A. Agbede // *Constr. Build. Mater.* – 2012. – № 26 (1). – P. 9–12. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.028
9. 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.
10. Effect of viscosity of petroleum products on deformation properties of concrete / A.P. Svintsov, Yu.V. Nikolenko, M. Kharun, A.S. Kazakov // *Magazine of Civ. Eng.* – 2014. – № 51 (7). – P. 16–22. DOI: 10.5862/MCE.51.2
11. Svintsov A.P. Effect of petroleum products on physical and mechanical properties of concrete and the reliability of load-bearing structures // *Arabian Journal for Science and Engineering.* – 2018. – № 1–11. DOI: 10.1007/s13369-018-3373-1
12. 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. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-2-245-253
13. Fuel, Lubricating Materials, Technical Liquids. Reference book / ed. by V.M. Shkolnikov. – Moscow: Techninform, 1999. – 596 p.
14. Техника и технологии производства и переработки растительных масел / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцева, В.П. Таров. – Тамбов, 2010. – 96 с.
15. Table of correspondence for units of kinematic viscosity. – URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/VicosityReynolds/ConversionKinematicViscosity/> (дата обращения: 02.06.2018).

References

1. Vakhshouri B., Nejadi S. Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete. *Front. Struct. Civ. Eng.*, 2018, no. 1–11. DOI: 10.1007/S11709-018-0479-1
2. Aslani F., Nejadi S. Mechanical properties of conventional and selfcompacting concrete: An analytical study. *Constr. Build. Mater.*, 2012, no. 36, pp. 330–347. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.034
3. 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.
4. Kameche Z.A., Ghomari F., Choinska M., Khelidj A. Assessment of liquid water and gas permeabilities of partially saturated ordinary concrete. *Constr. Build. Mater.*, 2014, no. 65, pp. 551–565. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.137
5. Simon K.M., Kishen J.M.C. A multiscale model for post-peak softening response of concrete and the role of microcracks in the interfacial transition zone. *Archive of Applied Mechanics*, 2018, pp. 1–15. DOI: 10.1007/s00419-018-1361-2
6. Fediuk R.S., Lesovik V.S., Svintsov A.P., Mochalov A.V., Kulichkov S.V., Stoyushko N.Y., Gladkova N.A., Timokhin R.A. Self-compacting concrete using pretreated rice husk ash. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 3, pp. 66–76. DOI: 10.18720/MCE.79.7

7. Mo K.H., Alengaram U.J., Jumaat M.Z. Utilization of ground granulated blast furnace slag as partial cement replacement in lightweight oil palm shell concrete. *Mater. Struct.*, 2015, no. 48 (8), pp. 2545–2556. DOI: 10.1617/s11527-014-0336-1
8. Ajagbe W.O., Omokehinde O.S., Alade G.A., Agbede O.A. Effect of crude oil impacted sand on compressive strength of concrete. *Constr. Build. Mater.*, 2012, no. 26 (1), pp. 9–12. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.028
9. Vorob'ev, A.A., Kazakov, A.S. Stojkost' stroitel'nyh konstrukcij pri jekspluatacii v promyslennyh 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.
10. Svintsov A.P., Nikolenko Yu.V., Kharun M., Kazakov A.S. Effect of viscosity of petroleum products on deformation properties of concrete. *Magazine of Civ. Eng.*, 2014, no. 51 (7), pp. 16–22. DOI: 10.5862/MCE.51.2
11. Svintsov A.P. Effect of petroleum products on physical and mechanical properties of concrete and the reliability of load-bearing structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2018, no. 1–11. DOI: 10.1007/s13369-018-3373-1
12. Svintsov A.P., Gamal T.S.F., Shumilin E.E. Vlijanie mineral'nogo i rastitel'nogo masla na deformativnye svoystva betona [Effect of mineral and vegetable oil on deformation properties of concrete]. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*, 2017, no. 18 (2), pp. 245–253. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-2-245-253
13. Fuel, Lubricating Materials, Technical Liquids. Reference book. Eds. Shkolnikov V.M. Moscow, Techninform, 1999, 596 p.
14. Nagornov S.A., Dvoreckij D.S., Romanceva S.V., Tarov V.P. Tekhnika i tekhnologii proizvodstva i pererabotki rastitel'nyh masel [Equipment and technologies of production and processing of vegetable oils]. Tambov, 2010, 96 p.
15. Table of correspondence for units of kinematic viscosity, available at: <http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/VicosityReynolds/ConversionKinematicViscosity/> (accessed 2 Yuni 2018).