

doi: 10.5862/MCE.51.2

## Влияние вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства бетона

*Д.т.н., заведующий кафедрой А.П. Свинцов;  
к.т.н., доцент Ю.В. Николенко;  
к.т.н., доцент М.И. Харун;  
ассистент А.С. Казаков,  
Российский университет дружбы народов*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования влияния нефтепродуктов, пропитывающих бетон, на его деформативные свойства. На предприятиях нефтепереработки, машиностроения, энергетики широко применяются технологии с использованием нефтепродуктов, которые систематически попадают на несущие бетонные и железобетонные конструкции: фундаменты под оборудование, колонны, подкрановые балки, перекрытия. Железобетонные резервуары для хранения нефтепродуктов также подвержены негативному воздействию и требуют повышенного внимания при обеспечении эксплуатационной безопасности. Нефтепродукты, пропитывающие бетонные и железобетонные конструкции отрицательно влияют на их прочностные и деформативные характеристики. Это связывают с изменением процесса гидратации цемента, а также с изменением структуры бетона. Прочностные и деформативные характеристики бетона изменяются из-за гидравлического давления нефтепродуктов, находящихся в его порах, на скелет цементного камня. В этом аспекте ключевое значение имеет пористость бетона как фактор проницаемости для нефтепродуктов.

Одним из важнейших факторов, влияющих на физико-механические характеристики пропитанного нефтепродуктами бетона, является их вязкость. В настоящее время описание физико-механических характеристик бетонных и железобетонных конструкций и прогнозирование их изменения базируются на данных эмпирических исследований и формулировке на их основе математических моделей. Имеющиеся рекомендации по оценке деформативных свойств пропитанного нефтепродуктами бетона не в полной мере учитывают влияние их вязкости. Это сдерживает решение задач по прогнозированию поведения конструкций в эксплуатационных условиях для обеспечения безопасности промышленных зданий.

Предложено математическое описание изменения деформаций в зависимости от условной вязкости пропитывающих нефтепродуктов, величины осевой нагрузки и класса бетона. Полученные результаты позволяют давать оценку изменения деформативных характеристик несущих бетонных и железобетонных конструкций промышленных зданий, где в технологических процессах используются нефтепродукты.

**Ключевые слова:** бетон; деформации; нефтепродукты; вязкость; напряжения; цементный камень

### Введение

Одной из особенностей функционирования многих промышленных зданий является использование в технологических процессах нефтепродуктов, которые систематически попадают на несущие бетонные и железобетонные конструкции, пропитывают их, что приводит к существенному ухудшению физико-механических характеристик.

В процессе пропитывания бетона нефтепродукты заполняют его поры и различные микротрещины. При осевом нагружении бетона нефтепродукты, как несжимаемые жидкости, передают возникающие усилия на стенки скелета бетонного камня. Это оказывает дополнительное влияние на процесс формирования как продольных (параллельных оси приложения нагрузки), так и поперечных деформаций.

Несмотря на наличие исследований о влиянии нефтепродуктов на физико-механические свойства пропитанного ими бетона, существует необходимость в оценке и учете вязкости нефтепродуктов при анализе деформативных характеристик бетона. Это позволит разрабатывать мероприятия по обеспечению безопасного функционирования промышленных зданий применительно к конкретным условиям эксплуатации.

### *Анализ состояния вопроса*

Несущие бетонные и железобетонные конструкции промышленных зданий нефтеперерабатывающего, топливно-энергетического комплексов, предприятий машиностроения, эксплуатации автотранспортных средств и др. в процессе эксплуатации подвержены влиянию нефтепродуктов. Это приводит к существенному ухудшению их первоначальных физико-механических характеристик и деформативных свойств. Негативное воздействие нефтепродуктов на бетон и железобетон обуславливает увеличение вероятности появления и развития деструктивных процессов и разрушения несущих конструкций промышленных зданий.

Изменению деформаций бетона и железобетона под влиянием различных факторов посвящены исследования, результаты которых представлены в работах [1–3]. В указанных публикациях приведены выявленные особенности усадочных деформаций бетона, в том числе вызванные его ползучестью. Однако закономерностей формирования деформаций бетона, пропитанного нефтепродуктами, в указанных исследованиях не выявлено.

В работах Н.М. Васильева [4, 5] выявлены особенности влияния нефтепродуктов на деформативные свойства бетона. При этом рассмотрено воздействие только масла И-20, в то время как на несущие конструкции систематически попадают и другие нефтепродукты, имеющие различную вязкость.

А.А. Воробьевым и Саидом Мохамадом выполнены исследования влияния минерального масла И-30, топочного мазута, дизельного топлива, осветительного керосина, бензина А-80 на некоторые деформативные свойства бетона [6, 7]. В результате исследования установлено, что при сжимающем нагружении продольные деформации пропитанного машинным маслом бетона по сравнению с контрольным уменьшаются, а поперечные возрастают.

В работе В.В. Пермяковой, Н.А. Лебедевой, О.А. Пожитковой [8] выявлены особенности структурных изменений в бетонных и железобетонных конструкциях, находящихся под воздействием отработанного минерального масла. Показано, что физико-механические свойства бетона и железобетона в значительной степени отличаются от показателей бетона, пропитанного свежим минеральным маслом.

Ю.Ф. Юсуповой исследованы вопросы эксплуатационных характеристик бетона при воздействии минеральных масел на железобетонные конструкции. Акцентировано внимание на том, что отработанное минеральное масло более агрессивно по отношению к бетону по сравнению с неотработанным [9]. Отработанное минеральное масло имеет вязкость, отличающуюся от свежего масла. В этой связи целесообразно рассматривать изменение физико-механических свойств бетона в аспекте влияния вязкости нефтепродуктов и величины напряжения при осевом сжатии.

В работе А.А. Воробьева и А.С. Казакова [10] отмечено влияние нефтепродуктов на прочностные и деформативные свойства бетона. Однако вопросы выявления зависимости деформаций бетона при осевом сжатии от вязкости пропитывающих нефтепродуктов не рассмотрены.

Исследованием А.А. Воробьева, Ю.К. Басова [11] установлено, что при осевой кратковременной сжимающей нагрузке пропитавшие бетон нефтепродукты передают распор на цементный камень, что способствует более интенсивному развитию деформаций.

В работе Хешама Диаба [12] показано, что агрессивность нефтепродуктов приводит к снижению сопротивления сжатию для обычного бетона на 17 %, а для высокопрочного – на 11,8 %. Это свидетельствует о том, что пропитавшие бетон нефтепродукты существенно снижают его прочность на сжатие.

Нефтепродукты оказывают негативное воздействие и на цементное тесто, предназначенное для использования в нефтяных скважинах [13, 14]. Исследованиями установлено, что бетон в начальном состоянии работает в упругой фазе с большой уплотняемостью. Механическое поведение бетона зависит от гидравлического давления нефтепродуктов, находящихся в порах, на скелет цементного камня.

Анализу пористости и проницаемости бетона посвящено исследование [15]. Выявлено, что пористость и проницаемость бетона играют ключевую роль в сопротивлении воздействиям агрессивной среды. Однако особенности агрессивного влияния нефтепродуктов на физико-механические характеристики бетона не выявлены.

Свинцов А.П., Николенко Ю.В., Харун М.И., Казаков А.С. Влияние вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства бетона

Исследование ухудшения и изменения физико-механических характеристик бетона, пропитанного нефтепродуктами, выполненное М.А. Матти [16], позволило выявить увеличение динамического модуля упругости бетона, пропитанного сырой нефтью, на 8–10 % по сравнению с контрольными образцами, а пропитанного водой – на 10–15 %.

Негативное воздействие нефтепродуктов на физико-механические и деформативные характеристики бетона и железобетона исследованы в аспекте обеспечения работоспособности нефтехранилищ [17, 18, 19]. Указанными исследованиями выявлены наименее неблагоприятные воздействия нефтепродуктов на днища резервуаров. В результате обследования технического состояния резервуаров для хранения нефти установлено, что за период эксплуатации, превышающий нормативный более чем в два раза, физический износ бетонных и железобетонных конструкций, расположенных ниже уровня налива нефти, составляет 25–28 % [20]. Такая сохраняемость обусловлена высокой плотностью бетона.

Анализ результатов исследований, представленных в источниках научно-технической информации, показывает, что влияние вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства пропитываемого бетона в настоящее время исследовано не в полной мере, а рекомендованные ранее эмпирические формулы учитывают только напряжение. Это сдерживает решение задач по прогнозированию поведения бетонных конструкций, пропитанных нефтепродуктами в конкретных условиях эксплуатации.

### Методы исследования

Исследование выполнено на основе анализа, обобщения и оценок экспериментальных данных о влиянии нефтепродуктов на физико-механические свойства бетона и строительного цементно-песчаного раствора. Количество исследуемых образцов определено в соответствии с планом эксперимента: контрольные образцы – по 3 единицы из бетона и из цементно-песчаного раствора; пропитанные нефтепродуктами – по 5 единиц для каждого. Образцы из бетона и цементно-песчаного раствора в течение пяти месяцев пропитывались нефтепродуктами с различной условной вязкостью: керосином осветительным (1,1 °Е), дизельным топливом (1,3 °Е), минеральным маслом И-30 (15 °Е), мазутом топливным М-40 (26 °Е). Условная вязкость указанных нефтепродуктов принята по справочным таблицам [21]. В рамках экспериментального исследования определены: коэффициент поперечной деформации ( $\nu = \varepsilon_{\text{поп.}} : \varepsilon_{\text{прод.}}$ ), дифференциальный коэффициент поперечной деформации ( $\Delta\nu = \Delta\varepsilon_{\text{поп.}} : \Delta\varepsilon_{\text{прод.}}$ ), удельные поперечные деформации ( $\Delta\varepsilon_{\text{поп.}} : \Delta P$  или  $\Delta\varepsilon_{\text{поп.}} : \Delta\sigma$ ), изменение внешнего объема бетона образца ( $\Theta = 2\varepsilon_{\text{поп.}} - \varepsilon_{\text{прод.}}$ ) и изменение внешнего объема на каждой ступени нагружения ( $\Delta\Theta = 2\Delta\varepsilon_{\text{поп.}} - \Delta\varepsilon_{\text{прод.}}$ ).

Математическая обработка данных выполнена с использованием методов теории вероятностей и математической статистики [22].

На основе рангового анализа выявлена возможность статистически значимого сравнения данных экспериментальных исследований, полученных в разные годы [1–4, 6]. Закономерности изменения продольных и поперечных деформаций установлены с использованием регрессионного анализа.

Использование указанных методов исследования позволило получить статистически значимые результаты в доверительных интервалах оценки.

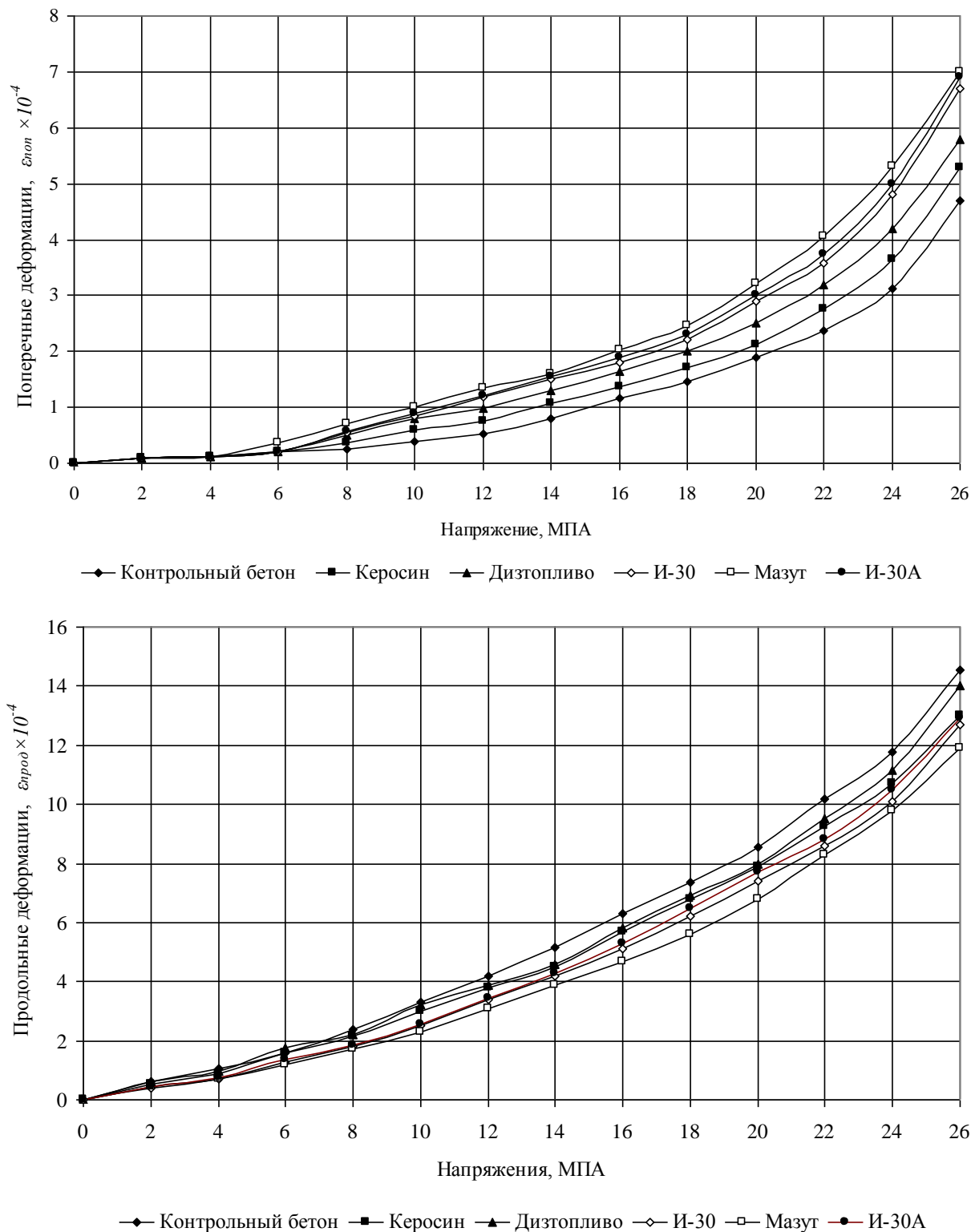
### Результаты и их обсуждение

Важным фактором, влияющим на физико-механические характеристики бетона, является вязкость пропитывающих его нефтепродуктов. На рисунке представлены диаграммы изменения деформаций бетона, пропитанного различными нефтепродуктами.

Анализ диаграмм показывает, что нефтепродукты, пропитывающие бетон, оказывают существенное влияние на его деформативные свойства. При осевом сжатии с ростом напряжения поперечные и продольные деформации увеличиваются и в контрольных, и в пропитанных нефтепродуктами образцах.

Установлено, что при напряжении, равном  $0,3 R_b$ , у бетона, пропитанного минеральным маслом И-30, коэффициент поперечной деформации в среднем на 72 % больше, чем у непропитанного; дифференциальный коэффициент поперечной деформации на 57 % больше; удельные поперечные деформации на 78 % больше; объемные деформации на 158 % меньше;

изменение объема на каждой ступени нагружения на 32 % меньше; модуль упругости бетона, пропитанного маслом И-30, на 21 % больше по сравнению с контрольным бетоном.



**Рисунок. Изменение поперечных и продольных деформаций бетона, пропитанного различными нефтепродуктами**

Поперечные деформации образуются вследствие того, что нефтепродукты как несжимаемые жидкости, расположенные в порах бетона, передают воспринимаемое ими давление во всех направлениях, включая поперечное. В поперечном направлении образцов давление создает распор, приводящий к разрушению скелета цементного камня. Увеличение деформаций бетона с повышением вязкости пропитывающих нефтепродуктов объясняется большей скоростью их перемещения в порах бетона и передачи энергии на скелет цементного камня.

Продольные деформации 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.

Указанные изменения строительных свойств бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать при проектировании несущих элементов промышленных зданий, где в технологических процессах используются нефтепродукты, для предотвращения преждевременных и непредвиденных разрушений, а также возникновения чрезвычайных ситуаций.

На основе экспериментальных данных разработаны эмпирические математические модели изменения поперечных и продольных деформаций в зависимости от относительного уровня напряжений и условной вязкости нефтепродуктов.

Регрессионные модели изменения деформаций пропитанного нефтепродуктами бетона при осевом статическом нагружении имеют вид:

а) для поперечных деформаций:

$$\lg \varepsilon_{\text{поп}} = \frac{\sigma_{\text{отн}} - 2,732 + 0,094 \lg(^{\circ} \text{BY})}{0,576}; \quad (1)$$

б) для продольных деформаций:

$$\lg \varepsilon_{\text{прод}} = \frac{\lg \sigma_{\text{отн}} + 0,276 (^{\circ} \text{BY})^{-0,0152}}{5,988 (^{\circ} \text{BY})^{-0,0125}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{отн}}$  – относительный уровень статического напряжения, доли единицы;  $\varepsilon_{\text{поп}}$ ,  $\varepsilon_{\text{прод}}$  – относительные поперечные и продольные деформации, доли единицы;  $(^{\circ} \text{BY})$  – величина условной вязкости, градусы Энглера ( $^{\circ} \text{E}$ ).

Анализ результатов расчетов по (1) и (2) и сравнение их с экспериментальными данными показывают, что разработанные эмпирические формулы с точностью  $\pm 3-4\%$  и коэффициентами детерминации  $R_{\text{поп}}^2 = 0,947$  и  $R_{\text{прод}}^2 = 0,963$  моделируют изменения, соответственно, поперечных и продольных деформаций пропитанного различными нефтепродуктами бетона при осевом статическом сжатии.

Анализ и сопоставление экспериментальных данных с результатами исследования Н.М. Васильева [5] и А.А. Воробьева, С. Мохамеда [7] показывают, что при уровне значимости  $\alpha = 0,95$  по критерию Спирмена выборки независимы, а по критерию Вилкоксона – однородны. Сравнение данных из исследований [5, 7] с результатами, полученными по (1) и (2), показывает, что ошибка результатов расчета не превышает  $3-4\%$ , что вполне достаточно для выполнения инженерных работ. Это позволяет считать возможным применение разработанных эмпирических моделей для оценки изменения деформаций бетона, пропитанного нефтепродуктами с известной условной вязкостью, при его статическом сжатии.

Таким образом, разработанные эмпирические модели позволяют прогнозировать изменение поперечных и продольных деформаций бетона, пропитанного нефтепродуктами, в конкретных условиях эксплуатации при известных осевых статических нагрузках и классах бетона. Это дает возможность решать практические инженерные задачи обеспечения технической безопасности промышленных зданий с бетонными и железобетонными несущими конструкциями.

## Заключение

При эксплуатации промышленных зданий предприятий автотранспорта, машиностроения, станкостроения, теплоэнергетики, нефтепереработки на несущие конструкции систематически попадают различные нефтепродукты и жидкости на их основе, применяемые в технологических процессах. Нефтепродукты, попадая на бетонные и железобетонные несущие конструкции, постепенно пропитывают их и негативно воздействуют на физико-механические характеристики, существенно ухудшая их относительно проектных (первоначальных) значений. Одним из негативных воздействий является изменение деформативных свойств бетона и железобетона.

Нефтепродукты в процессе пропитывания бетона заполняют его поры и микротрещины. При осевом нагружении нефтепродукты, как несжимаемые жидкости, передают возникающие усилия на скелет бетонного камня во всех направлениях.

Деформативные свойства пропитанного нефтепродуктами бетона зависят не только от класса бетона и напряжений из-за статической нагрузки, но и в значительной степени от вязкости нефтепродуктов.

Разработанные эмпирические модели позволяют прогнозировать изменение поперечных и продольных деформаций бетонных несущих конструкций, пропитанных нефтепродуктами и находящихся под воздействием статической нагрузки. Это необходимо для разработки научно обоснованных мероприятий по обеспечению условий безопасного функционирования промышленных зданий с учетом конкретных условий эксплуатации.

## Литература

1. Maia L., Figueiras J. Early-age creep deformation of a high strength self-compacting concrete // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 34. Pp. 602–610.
2. Darquennes A., Khokhar M.I.A., Rozière E., Loukili A., Grondin F., Staquet S. Early age deformations of concrete with high content of mineral additions // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Issue 4. Pp. 1836–1847.
3. Salau M.A. Long-term deformations of laterized concrete short columns // *Building and Environment*. 2003. Vol. 38. Issue 3. Pp. 469–477.
4. Васильев Н.М. Деформативность пропитанного нефтепродуктами бетона // *Бетон и железобетон*. 1988. №12. С. 10–11.
5. Васильев Н.М. Влияние минеральных масел на физико-механические свойства бетона и его защита. Дисс. ... к.т.н. М., 1966. 163 с.
6. Воробьев А.А., Саид Мохамед. Исследование объемных изменений в пропитанных нефтепродуктами растворе и бетоне при выдерживании на воздухе и в воде // *Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования*. 2003. №2. С. 46–49.
7. Воробьев А.А., Саид Мохамед. Влияние нефтепродуктов на некоторые деформативные свойства бетона при кратковременном нагружении // *Бетон и железобетон*. 2003. №6. С. 18–20.
8. Пермькова 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.
9. Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на эксплуатационные качества железобетонных конструкций // *Известия КазГАСУ*. 2008. №1(9). С. 137–140.
10. Воробьев А.А., Казаков А.С. Стойкость строительных конструкций при эксплуатации в промышленных зданиях при воздействии на них нефтепродуктов // *Вестник российского университета дружбы народов. Инженерные исследования*. 2010. №2. С. 32–35.
11. Воробьев А.А., Басов Ю.К. Деформации при кратковременном осевом сжатии пропитанного нефтепродуктами бетона // *Конструкции из композиционных материалов*. 2008. №4. С. 88–95.
12. Hesham Diab. Compressive strength performance of low- and high-strength concrete soaked in mineral oil // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 33. Pp. 25–31.

Свинцов А.П., Николенко Ю.В., Харун М.И., Казаков А.С. Влияние вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства бетона

13. Yurtdas I., Xie S.Y., Burlion N., Shao J.F., Saint-Marc J., Garnier A. Influence of chemical degradation on mechanical behavior of a petroleum cement paste // Cement and Concrete Research. 2011, Vol. 41. Issue 4. Pp. 412–421.
14. Zhang J., Weissinger E.A., Peethamparan S., Scherer G.W. Early hydration and setting of oil well cement // Cement and Concrete Research. 2010. Vol. 40. Issue 7. Pp. 1023–1033.
15. Kameche Z.A., Ghomari F., Choinska M., Khelidj A. Assessment of liquid water and gas permeabilities of partially saturated ordinary concrete // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 65. Pp. 551–565.
16. Matti M.A. Effect of oil soaking on the dynamic modulus of concrete // International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1983. Vol. 5. Issue 4. Pp. 277–282.
17. Crude oil tank bottom failure // Petroleum Review. 1987. Vol. 41. Issue 10. № 481. Pp. 36–36.
18. Wright R.N., Smith G. Oil storage tank collapses // Oil and Gas Journal. 1988. No. 46. Pp. 49-54.
19. Emery G. Tank-bottoms reclamation unit upgraded to meet stricter rules // Oil and Gas Journal. 1993. Vol. 91. No. 15. Pp. 40–46.
20. Латыпов В.М., Бабков В.В., Вагапов Р.Ф., Шарипов Э.Х., Архипов В.Г. Долговечность конструкций железобетонных резервуаров для хранения сырой нефти // Бетон и железобетон. 2001. №6. С. 21–24.
21. Школьников В.М. Топлива. Смазочные материалы. Технические жидкости. Справочник. М.: Техинформ, 1999. 596 с.
22. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юрайт: Высш. образование. 2009. 478 с.

*Александр Петрович Свинцов, Москва, Россия  
Тел. раб.: +7(905)5826910; эл. почта: svintsov@rambler.ru*

*Юрий Васильевич Николенко, Москва, Россия  
Тел. раб.: +7(495)9550830; эл. почта: yvnikolenko39@gmail.com*

*Махмуд Исхакович Харун, Москва, Россия  
Тел. раб.: +7(495)9550830; эл. почта: miharun@mail.ru*

*Александр Саидович Казаков, Москва, Россия  
Тел. раб.: +7(495)9550830; эл. почта: alexandre.kazakov@renault.com*

© Свинцов А.П., Николенко Ю.В., Харун М.И., Казаков А.С., 2014

doi: 10.5862/MCE.51.2

## Effect of viscosity of petroleum products on deformation properties of concrete

**A.P. Svintsov***Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
+79055826910; e-mail: svintsovap@rambler.ru***Yu.V. Nikolenko***Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
+74959550830; e-mail: yvnikolenko39@gmail.com***M.I. Kharun***Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
+74959550830; e-mail: miharun@mail.ru***A.S. Kazakov***Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
+74959550830; e-mail: alexandre.kazakov@renault.com*

### Key words

concrete, deformation, petroleum products, viscosity, stress, cement stone

### Abstract

This paper presents the results of studies of the effect of petroleum products, impregnating in concrete, on its deformation properties. Petroleum products, impregnating in concrete and reinforced concrete structures, have a negative impact on their strength and deformation characteristics. The negative impact of petroleum products on concrete and reinforced concrete is associated with changes in the hydration process of cement, as well as changes in the structure of the concrete. Strength and deformation characteristics of concrete change due to hydraulic pressure of petroleum products in the pores exerted on the skeleton of cement stone. In this aspect, the crucial point is the porosity of concrete as a permeability factor for petroleum products.

One of the most important factors affecting the physical and mechanical characteristics of oil-impregnated concrete is their viscosity. In this paper, the mathematical description of the change of deformation depending on the relative viscosity of impregnating of petroleum products, the value of the axial load and the concrete class was proposed.

The obtained results allow assessing changes in deformation characteristics of load-bearing concrete and reinforced concrete of industrial buildings, where petroleum products are used in the technological processes.

### References

1. Maia L., Figueiras J. Early-age creep deformation of a high strength self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 34. Pp. 602–610.
2. Darquennes A., Khokhar M.I.A., Rozière E., Loukili A., Grondin F., Staquet S. Early age deformations of concrete with high content of mineral additions. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Issue 4. Pp. 1836–1847.
3. Salau M.A. Long-term deformations of laterized concrete short columns. *Building and Environment*. 2003. Vol. 38. Issue 3. Pp. 469–477.
4. Vasilyev N.M. Deformativnost propitannogo nefteproduktami betona [Deformativnost of the concrete impregnated with oil products]. *Beton i zhelezobeton*. 1988. No.12. Pp. 10–11. (rus)
5. Vasilyev N.M. *Vliyaniye mineralnykh masel na fiziko-mekhanicheskiye svoystva betona i yego zashchita* [Influence of mineral oils on physicomaterial properties of concrete and its protection]. PhD dissertation. Moscow, 1966. 163 p. (rus)
6. Vorobyev A.A., Said Mokhammad. Issledovaniye obyemnykh izmeneniy v propitannykh nefteproduktami rastvore i betone pri vyderzhivaniy na vozdukhe i v vode [Research of volume changes in the solution and concrete impregnated with oil products when keeping on air and in water]. *Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering researches*. 2003. No. 2. Pp. 46–49. (rus)



7. Vorobyev A.A., Said Mokhammad. Vliyaniye nefteproduktov na nekotoryye deformativnyye svoystva betona pri kratkovremennom nagruzhenii [Influence of oil products on some deformativny properties of concrete at short-term loading]. *Beton i zhelezobeton*. 2003. No. 6. Pp. 18–20. (rus)
8. Permyakova V.V., Lebedeva N.A., Pozhitkova O.A. Issledovaniye sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy, podverzhennykh vozdeystviyu otrabotannogo masla [Research of a condition of the concrete and ferroconcrete designs subject to influence of fulfilled oil]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.Ye. Vedeneyeva*. 2000. Vol. 237. Pp. 18–24. (rus)
9. Yusupova Yu.F. Vliyaniye mineralnykh masel na ekspluatatsionnyye kachestva zhelezobetonnykh konstruksiy [Influence of oil products on some deformativny properties of concrete at short-term loading]. *Izvestiya KazGASU*. 2008. No. 1(9). Pp. 137–140. (rus)
10. Vorobyev A.A., Kazakov A.S. Stoykost stroitelnykh konstruksiy pri ekspluatatsii v promyshlennykh zdaniyakh pri vozdeystvii na nikh nefteproduktov [Influence of mineral oils on operational qualities of ferroconcrete designs]. *Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering researches*. 2010. No. 2. Pp. 32–35. (rus)
11. Vorobyev A.A., Basov Yu.K. Deformatsii pri kratkovremennom osevom szhatii propitannogo nefteproduktami betona [Deformations at short-term axial compression of the concrete impregnated with oil products]. *Composite materials constructions*. 2008. No. 4. Pp. 88–95. (rus)
12. Hesham Diab. Compressive strength performance of low- and high-strength concrete soaked in mineral oil. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 33. Pp. 25–31.
13. Yurtdas I., Xie S.Y., Burlion N., Shao J.F., Saint-Marc J., Garnier A. Influence of chemical degradation on mechanical behavior of a petroleum cement paste. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Issue 4. Pp. 412–421.
14. Zhang J., Weissinger E.A., Peethamparan S., Scherer G.W. Early hydration and setting of oil well cement. *Cement and Concrete Research*. 2010. Vol. 40. Issue 7. Pp. 1023–1033.
15. Kameche Z.A., Ghomari F., Choiniska M., Khelidj A. Assessment of liquid water and gas permeabilities of partially saturated ordinary concrete. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 65. Pp. 551–565.
16. Matti M.A. Effect of oil soaking on the dynamic modulus of concrete. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1983. Vol. 5. Issue 4. Pp. 277–282.
17. Crude oil tank bottom failure. *Petroleum Review*. 1987. Vol. 41. Issue 10. No. 481. Pp. 36–36.
18. Wright R.N., Smith G. Oil storage tank collapses. *Oil and Gas Journal*. 1988. No. 46. Pp. 49–54.
19. Emery G. Tank-bottoms reclamation Emery G. Tank-bottoms reclamation unit ipgraded to meet stricter rules // *Oil and Gas Journal*. 1993. Vol. 91. No. 15. Pp. 40–46.
20. Latypov V.M., Babkov V.V., Vagapov R.F., Sharipov E.Kh., Arkhipov V.G. Dolgovechnost konstruksiy zhelezobetonnykh rezervuarov dlya khraneniya syroy nefi [Durability of designs of ferroconcrete tanks for storage of crude oil]. *Beton i zhelezobeton*. 2001. No.6. Pp. 21–24. (rus)
21. Shkolnikov V.M. *Topliva. Smazochnyye materialy. Tekhnicheskkiye zhidkosti* [Fuels. Lubricants. Technical liquids]. Moscow: Tekhinform, 1999. 596 p. (rus)
22. Gmurman V.Ye. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: Yurayt: Vyssh. obrazovaniye. 2009. 478 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 16–22**