

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОМАСЛЕННОГО БЕТОНА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Улыбин Алексей Владимирович

к.т.н., генеральный директор

тел.: +7 (921) 777-45-16, e-mail: ulybin@mail.ru

ООО «ОЗИС-Венчур» (www.ozis-venture.ru), г. Санкт-Петербург

АННОТАЦИЯ

В статье приводится обзор нормативной литературы и научных публикаций, рассматривающих вопрос влияния долговременного влияния нефтепродуктов на прочность бетона конструкций. На ряде обследованных объектов показано фактическое соотношение прочности бетона после пропитки маслами и без такового. На основании экспериментальных исследований автора приведены возможные причины противоречий между результатами исследований и общепринятыми представлениями о рассматриваемом вопросе. Представлены рекомендации по исследованию конструкций, подверженных воздействию нефтепродуктов, с точки зрения определения фактической прочности бетона.

Ключевые слова: прочность бетона, воздействие нефтепродуктов, промасливание, коррозия бетона.

При диагностике бетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений одним характерных повреждений является пропитка бетона нефтепродуктами (далее промасливание). Данное повреждение характерно для конструкций многих промышленных объектов (наиболее полный перечень приведен в таблице 1 руководства [1]), в том числе:

- автотранспортные предприятия;
- трансформаторные подстанции (утечки охлаждающих масел);
- предприятия с оборудованием (в т.ч. станками), использующим масла и эмульсии для смазывания и охлаждения;
- предприятия нефтехимии (в т.ч. резервуары для хранения нефтепродуктов);
- прочие предприятия, использующие нефтепродукты.

Причем для одной группы сооружений агрессивное воздействие нефтепродуктов является изначально предусматриваемым фактором, компенсируемым при подборе состава бетона или устройстве изоляционных покрытий [1], а для

других оно происходит вследствие утечек при ненадлежащей эксплуатации и различных инцидентах.

В нормативных документах и технической литературе рассматривается три основных негативных последствия промасливания:

- снижение прочности бетона;
- снижение скорости (прекращение) гидратации бетона, а следовательно, прекращение набора прочности;
- ухудшение сцепления бетона с арматурой;

Помимо них, существуют проблемы эстетического характера, связанные с образованием масляных пятен на поверхности конструкций.

Данная работ посвящена вопросам изменения прочности бетона после промасливания.

Обзор

Основополагающей работой, опубликованной в 1966 г., на тему влияния промасливания на прочность бетона является диссертация В.М. Васильева «Влияние минеральных масел на физико-механические свойства бетона и его защита». В работах автора диссертации, предшествовавших защите, а также опубликованных позднее [2], рассмотрены следующие основные явления, подтвержденные экспериментально.

1. При обильном попадании нефтепродуктов на бетон прочность за период приблизительно 7 лет снижается на 70% от первоначальной. В последующий период дальнейшее снижение прочности не наблюдается. Необходимо отметить, что в первые 1-1,5 года снижение прочности не наблюдалось.

2. Меньшая плотность (большее В/Ц), а также наличие микродефектов способствуют большему снижению прочности.

3. Выявлено, что нефтепродукты, не содержащие ПАВ (смолы и присадки), такие как бензин, керосин, вазелиновое масло, не снижают прочность бетона.

4. Нефтепродукты не вступают в реакцию с цементным камнем. Таким образом снижение прочности связано не с химическими процессами, а расклинивающим действием смол, обволакивающих заполнитель в бетоне.

5. Испытания на изгиб и растяжение показали аналогичный эффект с испытаниями на сжатие.

6. Для оценки прочности бетона (точность $\pm 20\%$) при постоянном (обильном) промасливании рекомендована формула:

$$R^M_t = R_0 (1 - 0,1t), \quad (1)$$

где R_0 – начальная прочность бетона на сжатие;

R^M – прочность промасленного бетона после t лет промасливания.

Формула (1) справедлива в течение 7 лет.

При периодическом промасливании (1-2 раза в год) предлагается использование формулы:

$$R^M_t = R_0 (1 - 0,023t), \quad (2)$$

Формула (2) может применяться в течение 25-30 лет. После истечения указанных сроков прочность промасленного бетона рекомендуется принимать $1/3$ от начальной.

7. При однократном или редком (раз в 5-10 лет) промасливании прочность бетона не снижается.

В последующие годы указанные исследования В.М. Васильева и предложенные зависимости применялись в большинстве документов по обследованию конструкций, в том числе [1]. В последние десятилетия опубликованы немногочисленные работы, отражающие практический и экспериментальный опыт измерения прочности промасленного бетона. Рассмотрим некоторые из работ.

В работах [3-5], опубликованных Ю.Ф. Юсуповой, приводятся результаты исследования проб бетона, отобранных из перекрытия реконструируемого здания, в течение 30 лет подвергавшегося воздействию масла. По результатам исследования образцов – кубов, вырезанных из отобранных проб, выявлено снижение прочности бетона до 100 кгс/см^2 (при проектной марке 300 кгс/см^2). Хочется обратить внимание, что за прочность непромасленного бетона взята проектная, а данные о лабораторных испытаниях бетона в непромасленной зоне перекрытия в статьях [3,4] не приводятся. Аналогичная ситуация встречается неоднократно. При таком подходе нельзя гарантировать, что проектные требования были выполнены или прочность бетона (как промасленного, так и нет) не изменилась вследствие других агрессивных воздействий. Таким образом, результаты сравнения могут быть заведомо ошибочными.

Также в работе [3] отмечается, что «имеющиеся теоретические сведения не дают возможности достоверно определить ресурс эксплуатационных качеств промасленных конструкций». В частности, не исследовалось влияние на бетон отработанных масел. Предлагается проведение многофакторного исследования

с учетом фактических характеристик агрессивного вещества и бетона. Приводятся результаты эксперимента, в котором бетон испытан на сжатие после трех месяцев промасливания в отработанном и неотработанном маслах. Промасливание выполнялось односторонним, для чего образцы промасливались в обоймах. Выявлено, что прочность бетона (классы В25 и В7,5) снизилась на 25-30% в неотработанном масле и на 50-70% в отработанном. Из данных результатов сделан вывод о том, что отработанное масло существенно сильнее снижает прочность бетона.

Констатируется тот факт, что образцы промаслены неоднородно по объему (особенно при воздействии отработанного масла). Поэтому для определения прочности применяется склерометрический метод (прибор Оникс-2.5).

Необходимо отметить, что результат, полученный в работах [3,4] за три месяца промасливания, не согласуется с результатами Васильева Н.М. [2], которые констатируют, что эффект снижения прочности начинает себя проявлять только через 1-1,5 года после начала агрессивного воздействия. Также данный результат противоречит результатам исследований [6], которые описаны далее. Помимо этого, сомнительным кажется применимость склерометрического метода (особенно с малой энергией удара: 0,1 Дж у прибора Оникс-2.5) для исследования изменения прочности вследствие промасливания. Данный метод, как известно по многочисленным исследованиям, характеризуется большим разбросом результатов даже при отсутствии повреждений поверхностного слоя бетона. При изменении свойств поверхности, в том числе при ее загрязнении нефтепродуктами, вполне ожидаемо дополнительное увеличение погрешности измерений.

В работе О.А. Долговой и Д.В. Саламатова [7] приводятся результаты изменения прочности цементно-песчаных образцов - балочек различных составов после ускоренного промасливания. Пропитку осуществляли маслом И-20 в течение 3-х часов с подогревом до 100-120 °С. Испытание производили на сжатие и изгиб. В результате было выявлено, что прочность на сжатие снизилась в зависимости от состава раствора (В/Ц, вида цемента и наличия добавок) в диапазоне 10-37 % от изначальной. Прочность при изгибе при этом не изменилась.

В данном исследовании интересен показанный факт отсутствия влияния промасливания на прочность образцов при растяжении, определенный испытаниями на изгиб. Насколько можно относить указанные результаты к тяжелым бетонам, эксплуатирующийся в нормальных температурных условиях не ясно.

Например, в работе [8] показано, что однократный нагрев промасленного бетона до температуры 200 °С способствует аналогичной пропитке в течение 1 года, при этом снижение прочности достигает 15%.

В работе [6] рассматривается влияние промасливания на конструкции фундаментов турбоагрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях. К негативным факторам эксплуатации дополнительно к промасливанию от утечек смазочных масел относятся повышенная температура (более 100 °С) и воспринимаемые конструкциями вибрации. Как указано в документе [1] и работе [2] сочетание вибрационных воздействий с промасливанием приводит к увеличению эффекта снижения прочности за счет интенсивного образования микродефектов в структуре бетона и проникновения в них нефтепродуктов.

Вопросы работоспособности бетонных конструкций при эксплуатации в условиях динамических нагрузок и агрессивных воздействий являются актуальными и выделяются в отдельную научную проблему. Так сочетание промасливания и различного рода циклических нагрузок является предметом самостоятельных исследований различных авторов [9]. В том числе и в работе [6] приводится обзор результатов обследований фундаментов, в которых промасливание конструкций привело к разрушению бетонных элементов. При этом необходимо отметить, что речь идет о попадании масел в трещины и в сочетании с динамическими воздействиями от оборудования нарушении сцепления между фрагментами конструкций, в особенности со стальными закладными. Надо понимать, что в подобных ситуациях основным негативным фактором является не столько снижение прочности бетона вследствие промасливания, сколько снижение несущей способности элемента из-за нарушения его совместной работы и трещинообразования. Подробно о данном эффекте описано в работе [10].

Результаты лабораторных испытаний промасленного бетона, выполненные в лаборатории ВНИИГ им Б.Е. Веденеева [6], показали, что после погружения образцов тяжелого бетона в отработанное турбинное масло на срок 1 год потеря прочности на сжатие достигла только 7%, а после 3,5 лет – 20%.

Необходимо отметить, что в исследованиях, описывающих влияние промасливания на прочность бетона, может быть *перепутана причинно-следственная связь*. В частности, такой фактор как глубина пропитки нефтепродуктами называется причиной снижения прочности и приводятся данные, где при большей глубине прочность снизилась больше [6,11]. Вполне логично следующее рассуждение. В случае наличия неравномерности прочности бетона

в зонах с низкой прочностью плотность структуры бетона ниже. Соответственно глубина проникновения нефтепродуктов на участках с меньшей плотностью (прочностью) будет больше. Неоднородность прочности может быть вызвана как изначально низким качеством изготовления конструкций, так и изменением прочности вследствие различных условий эксплуатации разных участков (коррозия бетона, размораживание, повышенные температуры, вибрации и пр.), что подробно описано в работе [10]. Автор в своей практике не раз встречал конструкции, в которых прочность различных участков одного элемента отличалась в 2 и более раз еще на начальном периоде эксплуатации.

Такую неверную трактовку можно обнаружить и в работе [11], описывающей снижение прочности конструкции фундамента на Архангельском целлюлозно-бумажном комбинате. Приводятся результаты испытания кернов диаметром 59 мм, выбуренных из рамного фундамента бумагоделательной машины. По результатам осмотра кернов выявлена глубина проникновения масла, которая не превышает 2,4 см. Минимальное значение прочности, определенное испытаниями на сжатие, составило 11,8 МПа, что составляет 55 % от средней прочности кернов, отобранных из не промасленных участков. При этом приводятся данные в которых снижение прочности составляет 23%, а глубина промасливания 6 мм. Очевидно, что для образцов цилиндров высотой равной диаметру (59 мм) зона в 6 мм составляет только 10% (не учитывая необходимость торцовки керна перед испытанием). Таким образом, на ряде образцов испытание выполнено для непромасленного бетона.

Результаты собственных исследований

К сожалению, собственный экспериментальный опыт исследования промасленного бетона ограничивается только несколькими объектами, описанными далее.

В 2012 г. выполнено обследование монолитного железобетонного перекрытия завода в Санкт-Петербурге. Площадь обследуемого участка составляла приблизительно 100 м². На перекрытии расположен участок металлообработки. Со станков в течение более 30 лет происходили утечки масел (И-20А, И-30А, ИГП-30) и охлаждающих эмульсий. Несмотря на выполненный незадолго до обследования ремонт в помещениях первого этажа, на нижней поверхности перекрытия хорошо просматривались наиболее промасленные участки (рисунок 1). Для определения фактической прочности бетона был произведен отбор

шести кернов, три из которых изъяты из промасленного участка и три вне зоны промасливания. Данный метод сравнения по указаниям [1] является наиболее точным. По результатам осмотра кернов выявлено, что бетон перекрытия выполнен на гравийном гранитном заполнителе фракции 20-40 с включениями до 70 мм, а также зафиксировано сквозное промасливание (рисунок 2).



Рисунок 1 – Пятна промасливания на монолитном ребристом перекрытии завода



Рисунок 2 – Образцы – цилиндры, изготовленные из кернов, отобранных из перекрытия (№№1,2,6 из промасленной зоны; №№ 3,4,5 – вне зоны промасливания)

По результатам испытаний стандартных образцов (ГОСТ 28570-90) – цилиндров выявлено, что среднее значение прочности промасленного бетона составило 22,3 МПа, а бетона в не промасленной зоне 22,0 МПа. Таким образом, изменение прочности не произошло.

Параллельно с отбором кернов для увеличения выборки измерений произведены испытания прочности методом отрыва со скалыванием (ГОСТ 22690-88). По результатам испытаний прочность промасленного бетона составила 28,1 МПа, а бетона в непромасленной зоне 30,9 МПа. Величина прочности, определенной неразрушающим методом контроля, завышена и требует дополнительной обработки для приведения к результатам прямого испытания. Несмотря на это, по качественному сравнению видно, что показания в промасленной и непромасленной зонах отличаются всего на 10%.

В 2015 г. при обследовании перекрытия здания одного из НИИ Санкт-Петербурга обнаружены следы промасливания на нижней поверхности сборных ребристых плит перекрытий. На поверхности бетона (ребрах и панели плит) зафиксирован свежий слой масла. По данным, полученным от эксплуатирующей службы, протечки со станков, расположенных на перекрытии являются периодическими и продолжаются около 20 лет. Бетон плит перекрытий тяжелый на гранитном щебне, подверженный тепло-влажностной обработке при изготовлении. В связи с невозможностью отбора кернов испытания прочности выполнялись методом отрыва со скалыванием. В результате прочность промасленного бетона (среднее по 3 испытаниям) составила 50,1 МПа, а в непромасленной зоне 50,3 МПа. На участках измерений видно, что глубина промасливания превышает глубину сколотого фрагмента (т.е. более 35 мм).

В 2011 г. коллективом автора выполнялось обследование перекрытия производственного здания, расположенного на территории завода АО «Компрессор» в Санкт-Петербурге. Надподвальное перекрытие постройки конца XIX века выполнено по стальным балкам с заполнением бетонным сводиками. Бетон сводиков выполнен на кирпичном бое. На нижней поверхности перекрытия зафиксированы многочисленные (более 30% общей площади) участки сквозного промасливания (рисунок 3), произошедшего в годы эксплуатации объекта по назначению (на момент обследования помещения арендуются и используются в качестве складских). Произведен выборочный контроль прочности бетонных сводиков методом отрыва со скалыванием. По результатам измерений снижения прочности промасленных участков по сравнению с чистыми не зафиксировано (среднее значение прочности бетона 31 МПа).

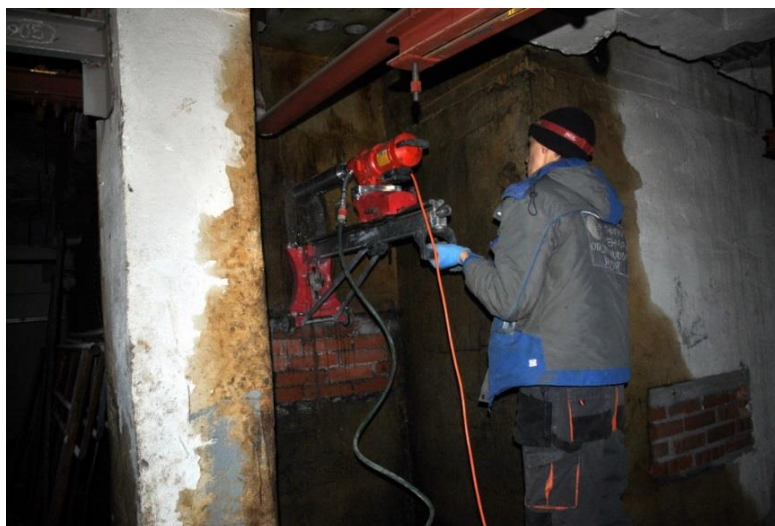


Рисунок 3 – Промасливание бетона сводиков балочного перекрытия

Аналогичные результаты при использовании метода отрыва со скалыванием в комплексе с неразрушающим контролем методами упругого отскока и ультразвуковым описаны в работе [12]. Приводятся результаты обследования перекрытия ГЭС, промасленного трансформаторным маслом. В результате параллельного исследования промасленных и не промасленных участков одних и тех же конструкций выявлено, что их прочность по сравнению показаний всех методов одинакова и выше проектной.

Необходимо отметить, что возможность применения метода отрыва со скалыванием для контроля изменения свойств (в частности прочности) промасленного бетона не очевидна. Как отмечалось выше в работе [7] влияние промасливания на прочность бетона при растяжении не наблюдается. Измеряемым параметром в методе отрыва со скалыванием как раз является прочность бетона на растяжение. С другой стороны, в п. 2.1 руководства [1] приводится информация о том, что «нефтепродукты, пропитывая бетон, снижают его прочность и в первую очередь при растяжении за счет нарушения контакта между цементным камнем и заполнителем». В любом случае, данный вопрос требует проведения дополнительных исследований.

В феврале 2016 г. при обследовании здания бывшего пивоваренного завода «Степана Разина» выявлены обширные участки промасливания под перекрытием, на котором долгие годы работали компрессоры. Следы нефтепродуктов обнаружены на плите перекрытия, балках, колоннах, а также массивных фундаментах компрессоров (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Отбор кернов из фундаментов компрессоров.
Следы промасливания на поверхности фундаментов и колонн**

Для оценки изменения прочности из вертикальных граней фундаментов, расположенных в цокольном этаже, отобраны керны (как и ранее в двух зонах). По результатам визуального осмотра выявлено, что глубина промасливания превышает 300 мм. Этому способствовала крайне рыхлая структура бетона, содержащая большое количество пор диаметром до 5 мм (рисунок 5). Заполнитель в бетоне гранитный гравий разной фракции, в качестве мелкого заполнителя, вероятно, применялся гравийный отсев.



**Рисунок 5 – Образец промасленного бетона.
Структура бетона с большим количеством пор**

В результате испытания в прессе кернов выявлено следующее. Прочность промасленного бетона (среднее по 4 образцам из 2 кернов) составила 19,8 МПа. При этом прочность бетона фундамента вне зоны промасливания (среднее по 4

образцам из 2 кернов, один керна с дефектом структуры не учтен при анализе) составила 19,4 МПа. Таким образом, можно констатировать, что снижения прочности бетона вследствие промасливания не произошло.

Аналогичная ситуация зафиксирована при обследовании колонн и балок перекрытия бывшего Колпинского завода сантехарматуры и скобяных изделий. Конструкции, эксплуатирующиеся с 60-х гг. XX века, имеют следы промасливания. Источником являются металлообрабатывающие станки. По результатам отбора проб кернов и их лабораторного испытания среднее значение прочности бетона на непромасленных участках составило 34,0 МПа, а на промасленных 33,7 МПа.

Для обобщения представленных результатов на рисунке 6 представлен график, наглядно демонстрирующий сравнение прочностей на описанных выше объектах.

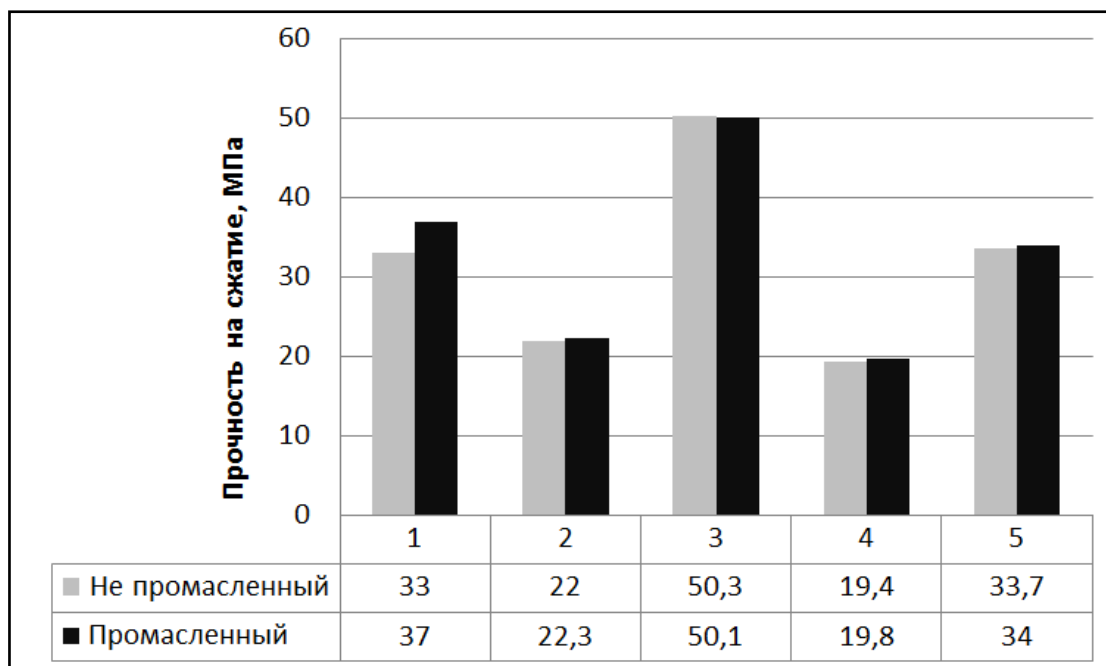


Рисунок 6 – Сравнение результатов испытания бетона после промасливания и без воздействия нефтепродуктов

Выводы

В качестве выводов по изложенному материалу хочется отметить следующее.

1. Несмотря на общепринятую и экспериментально обоснованную в ряде работ точку зрения о существенном снижении прочности бетона на сжатие под воздействием нефтепродуктов, встречаются объекты, на которых данный эффект отсутствует.

2. Возможно данное противоречие вызвано необходимостью более детального учета в предлагаемых в работе [2] зависимостях (1,2) конкретных условий промасливания, к которым относятся: условия доступа нефтепродуктов, их вид, периодичность и период промасливания, условия эксплуатации конструкций (температура, динамические воздействия и пр.), состав, плотность и первоначальная прочность бетона и другие.

3. Многие исследования, в которых описываются результаты оценки изменения прочности бетона вследствие промасливания оперируют недостаточным количеством данных. Иногда прочность не измеряется вообще, в некоторых случаях сравнение прочности промасленного бетона происходит с проектным значением. В ряде случаев меняется местами причинно-следственная связь.

4. Для достоверной оценки изменения прочности промасленного бетона необходимо производить испытания проб, отобранных из промасленных и непромасленных участков одной и той же конструкции. Иначе сравнение может быть некорректным. Желательно, чтобы участки отбора для сравнения были расположены в одинаковых (помимо промасливания) условиях эксплуатации (высота, температура, прочие факторы).

5. Применение для сравнения всех поверхностных методов неразрушающего контроля (ультразвукового, упругого отскока, ударного импульса, а также пластической деформации, рекомендуемые [1]) для оценки изменения прочности, по мнению автора, сомнительно. Возможность использования для этой же цели прямого метода отрыва со скалыванием требует подтверждения в ходе дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по защите железобетонных конструкций от действия нефтепродуктов/ НИИЖБ.-М.: Стройиздат, 1983.-32 с.
2. Васильев Н.М. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона // Бетон и железобетон.- 1981.- №3.– С. 36-37.
3. Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на эксплуатационные качества железобетонных конструкций // Известия КазГАСУ. Строительные материалы и технологии, 2008.- №1 (9).-С.137-140.
4. Яковлева М.В., Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на железобетонные конструкции // Известия вузов. Строительство.-2009.-№9.-С.116-122.
5. Яковлева М.В., Юсупова Ю.Ф. Исследование структуры бетона, пропитанного органическими средами // Башкирский химический журнал.-2009.-№3.-С.48-53.
6. Козлов А. Б., Пермякова В. В. Влияние масел на прочность бетона фундаментов под энергетическое оборудование // Производственно-технический журнал «Электрические станции».-2001.-№ 2.-С.60-67.
7. Долгова О.А., Саламатов Д.В. К вопросу о маслостойкости бетона для фундаментов под прокатное оборудование металлургических предприятий // Сборник «Строительные материалы и изделия».-2002.-№7.-С.1-4.
8. Шелегов В. Г., Малекин В. Ф. Влияние нагревания на прочность тяжелого бетона, пропитанного маслом. - Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1991, № 9.
9. Воробьев А.А., Казаков А.С. Влияние воздействия нефтепродуктов на выносливость железобетонных конструкций // Конструкции из композитных материалов.- 2006.- №2.- С.69-74.
10. Штенгель В.Г. Пожиткова О.А. Особенности изменения прочности бетона элементов фундаментов длительно эксплуатирующихся турбоагрегатов // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения/ Материалы V международной научно-практической конференции. 2014. С.5-13.
11. Аксенов С.Е., Никитин А.В., Заручевных А.В. Эксплуатация железобетонных конструкций на целлюлозно-бумажных комбинатах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 2. С. 161-173.
12. Штенгель В.Г. Мифы и реалии применения методов неразрушающего контроля бетона при обследовании эксплуатирующийся конструкций и сооружений // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: Материалы VI международной научно-практической конференции. 2015. С.189-195.

THE STRENGTH CHANGES OF EXISTING CONCRETE STRUCTURES AFTER PETROLEUM OILS INFLUENCE

Ulybin Aleksey Vladimirovich

PhD (Eng), CEO

Phone: +7 (921) 777-45-16, e-mail: ulybin@mail.ru

LLC «OZIS-Venture» (www.ozis-venture.ru), Saint-Petersburg

ABSTRACT

The article provides an overview of codes and publications, are considering long-term influence of petroleum oils on the strength of concrete structures. On a number of surveyed sites shows the ratio of the actual strength of the concrete after oiling and without it. Based on the experimental research of the author, the possible causes of contradiction between the findings and generally accepted notions are described. Recommendations for research structures exposed to petroleum products, in terms of defining the actual strength of the concrete, are given.

Keywords: concrete strength, petroleum oils influence, corrosion of concrete.