

ся в том, что поликарбоксилаты адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд. В результате этого цементные зерна взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор, а также минеральные составляющие. Чем длиннее цепи, которые создают молекулы пластификатора, тем интенсивнее это отталкивание. Эффективность пластификации становится более высокой, а ее действие продлевается при постоянном перемешивании. Длительность пластифицирующего эффекта поликарбоксилатов как минимум в 3–4 раза больше, чем при применении обычных суперпластификаторов, за счет большой длины молекул поликарбоксилатов. В Республике Беларусь часто применяются пластификаторы *FREM GIPER*, *Стахемент*, *Хидетал-ГП-9* и т.д., обладающие этими свойствами.

Бетонные смеси с применением пластификаторов на основе поликарбоксилатов обладают высокой сохраняемостью бетонной смеси (до 3 часов), хорошей удобоукладываемостью при максимальном снижении водосодержания бетонной смеси; обеспечивается высокий водоредуцирующий эффект, который может быть использован для экономии цемента или повышения физико-механических характеристик бетона, снижается водоцементное отношение, повышается подвижность бетонной смеси с П1 до П5. При использовании пластифицирующего эффекта снижает время вибрирования изделий, облегчает уплотнение бетона. В комплексе с дополнительными мероприятиями позволяет существенно повысить качество поверхности.

В результате можно получить высокопрочные бетоны *C50/60 (M 800)*, значительно повысить морозостойкость и водонепроницаемость бетона в конструкции.

УДК 693.54:628.32

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ПОВРЕЖДЕННОГО БЕТОНА И АРМАТУРЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Г. Н. БЕЛОУСОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При возведении из сборного и монолитного бетона и железобетона сооружений систем водоснабжения и водоотведения наиболее сложным и трудоемким для производства работ являются многочисленные емкостные сооружения цилиндрической, прямоугольной и круглой (в плане) формы. Железобетонные резервуары цилиндрической формы применяют в строительстве первичных и вторичных отстойников, в строительстве резервуаров чистой воды. Особенностью бетонирования стен таких сооружений является то, что толщина этих стен незначительна (20–40 см), а высота достигает 5–7 метров. Сооружения выполняются из сборных железобетонных элементов стен, перегородок, перекрытий и монолитного днища.

Бетон для железобетонных конструкций должен обладать необходимой прочностью, хорошим сцеплением с арматурой, достаточной плотностью для защиты арматуры от коррозии. В зависимости от назначения сооружения бетон также должен удовлетворять специальным требованиям: морозостойкости, коррозионной стойкости при агрессивном воздействии среды, водонепроницаемостью и др. Важнейшим физико-механическим свойством бетона с точки зрения его работы в железобетонных конструкциях являются прочность и деформативность, определяемые его структурой. Структуру бетона можно представить в виде пространственной решетки из цементного камня (включающего кристаллический сросток, гель и большое количество пор и капилляров, содержащих воздух и воду), в котором хаотично расположены зерна песка и щебня. В таком неоднородном теле нагрузка создает сложное напряженное состояние. Бетон, как и другие каменные материалы, обладает значительным сопротивлением, сжимающим напряжением, и весьма малым сопротивлением растяжению (прочность бетона на растяжение в 10–15 раз меньше прочности на сжатие), а сталь работает и на сжатие, и на растяжение. Поэтому железобетон сжимающие напряжения воспринимает бетоном, а растягивающие – стальной арматурой. Разрушение бетонных (неармированных) конструкций происходит внезапно (хрупко), в то время как разрушение железобетонных элементов наступает постепенно, что позволяет снизить запас прочности. Кроме обычных железобетонных конструкций в строительстве очистных сооружений используются предварительно напря-

женные. Цилиндрическая форма сооружений позволяет наиболее просто производить предварительное напряжение бетона в стенах путем навивки на них спирали из высокопрочной проволоки (радиальные отстойники диаметром до 40 метров, глубиной 3–5 метров).

Арматура в бетоне не ржавеет, пока она покрыта достаточной толщиной щелочестойкого слоя бетона. В действительности железобетонные конструкции часто имеют волосяные трещины после заливки бетона, очень часто защитный слой локально очень тонкий. Всё это в сочетании с механическими нагрузками, влажностью, влиянием низких температур и солей, углекислого газа и других внешних воздействий может привести к карбонизации бетона, коррозии арматуры, а затем и к угрозе несущей способности конструкции очистного сооружения.

Большинство систем и сооружений водоотведения было построено и пущено в эксплуатацию в 60–80-е годы прошлого столетия в соответствии с существовавшими в те годы нормативными требованиями к техническому состоянию и эксплуатации. Реконструкция систем водоотведения и очистки сточных вод напрямую связаны с экологической обстановкой водных бассейнов Республики Беларусь. Сохранение водных источников от загрязнения и истощения путем реконструкции сооружений с минимизацией капитальных вложений является в настоящее время весьма важной и актуальной задачей. За последние годы накоплен значительный опыт, позволяющий применять новые материалы и методы реконструкции, основанные на современном научно-техническом уровне.

В результате обследования ряда очистных сооружений г. Гомеля, г. Хойники, г. Бреста, г. Гродно и др. кафедрой "Экология и рациональное использование водных ресурсов" УО "БелГУТ" совместно с ООО «Гефлис» проведены обследования, в результате которых наблюдается массовое разрушение поверхностного слоя бетона, оголение арматуры, пятна ржавчины на наружной поверхности, свидетельствующие о коррозии арматуры и закладных деталей, наличие множества местных и силовых трещин, локальные нарушения внутренней торкретштукатурки и т.п. Для реконструкции очистных сооружений необходимо выполнить не только ремонтные работы, но и демонтаж некоторых железобетонных элементов. Работы производятся в соответствии с СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции», СНиП 2-03-11 «Защита строительных конструкций от коррозии», ТКП 45-5.09-33-2006 «Антикоррозионные покрытия строительных конструкций зданий и сооружений» и др.

Повреждения железобетонных элементов можно восстановить с помощью ремонтных составов на полимерцементной основе. Защитить арматуру сразу после ее очистки 2-компонентным цветным покрытием на цементной основе ВЕТОНПРОТЕК К2, нанесенным в два слоя общей толщиной 1,5–2 мм, с интервалом в 1 час. Данная смесь имеет прекрасную адгезию к арматуре, водо- и газонепроницаема. Дополнительная защита обеспечивается ингибиторами коррозии, которые создают защитную пленку на арматуре. При нанесении покрытия на арматуру можно его нанести и на бетон, так как ВЕТОНПРОТЕК К2 может быть использован в качестве грунтовки между старым и новым бетоном или в качестве ремонтного материала для бетона. Для реставрации используется специально подготовленная микроармированная ремонтная смесь ВЕТОНПРОТЕК КТ (толщина нанесения 5–40 мм). Финальную защиту отремонтированного и неповрежденного бетона выполняют микроармированным тонкослойным составом ВЕТОНПРОТЕК F, который обеспечивает специальную защиту от атмосферного воздействия и дальнейшего разрушения. Таким образом, реконструкция железобетонных очистных сооружений выполняется в кратчайшие сроки в следующем порядке: очистка и защита арматуры; восстановление и защита бетона.

УДК 693.54:628.32

НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА И АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Г. Н. БЕЛОУСОВА, А. С. ШКОДА, Е. А. ЛАТЫШЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Очистные сооружения – это конструкции для очистки сточных вод, которые после очистки возвращаются в окружающую среду или в замкнутый цикл технологического процесса предприятия. Поскольку очистные сооружения являются одним из наиболее важных звеньев системы защиты окружающей среды от загрязнения неочищенными сточными водами, целью проведения исследования

тельской работы кафедры “Экология и рациональное использование водных ресурсов” УО “БелГУТ” является обследование очистных сооружений предприятий и разработка рекомендаций по их реконструкции в дипломных проектах студентов.

Нефть – двигатель мировой экономики. Однако использование этого ценного природного ресурса имеет свои негативные последствия: добыча, транспортировка и потребление нефти оказывают пагубное воздействие на людей и окружающую среду. Всюду, где перерабатываются или используются нефтепродукты, образуются нефтесодержащие сточные воды и нефтешламы.

В технологических процессах нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) происходит загрязнение воды нефтью, солями, реагентами и другими органическими и неорганическими веществами. В связи с этим по результатам технологической практики в дипломном проекте были разработаны рекомендации по обеспечению надежности и безопасности работы очистных сооружений и по повышению качества очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода. Также на предприятии образуется большое количество нефтешлама, поэтому разработан метод по утилизации нефтешлама с возвратом его на предприятие.

На нефтеперерабатывающем заводе предусматриваются две основные системы производственной канализации: I – для отведения и очистки нейтральных производственных и производственно-дождевых сточных вод; II – для отведения и очистки производственных сточных вод, содержащих нефть, нефтепродукты и нефтяные эмульсии, соли, реагенты и другие органические и неорганические вещества. Во II систему канализации поступают содесодержащие сточные воды и дождевые воды с площадок резервуаров нефти и мазута. Кроме того, на территории НПЗ установлены очистные сооружения, предназначенные для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод населенного пункта и самого предприятия.

Анализ эффективности эксплуатации очистных сооружений показал, что фактические концентрации ХПК, сульфид-иона, сульфат-иона, фосфат-иона, нефтепродуктов в очищенных сточных водах превышают фоновую концентрацию в водном объекте.

Для обеспечения благоприятной экологической обстановки и снижения нагрузки на водный объект по биогенным элементам выполнена реконструкция аэротенка путем разбивки его на зоны нитрификации, денитрификации и дефосфотизации. К тому же это позволит снизить содержание нитратов в сточных водах после аэротенков.

Переработка нефтешламов – необходимая мера для защиты окружающей среды и повышения экономической целесообразности производства нефтепродуктов. Проанализировав все методы, установили, что самым подходящим в данном случае является механический метод (декантирование), так как обезвоженную нефть после обработки можно перекачивать на завод для повторной переработки и добавления в товарный мазут. Отстоявшуюся подтоварную воду возможно перекачивать на повторную очистку.

На основании разработанных мероприятий по реконструкции очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода повысится эффективность их работы и качество очищенных сточных вод, сбрасываемых в водный объект.

Большой проблемой сегодня также являются автозаправочные станции (АЗС) в городах и населенных пунктах, где образуются нефтесодержащие сточные воды и нефтешламы. Вопросы локальной очистки сточных вод с территории АЗС также решаются в дипломных проектах. На территории площадки АЗС располагаются системы бытовой, дождевой и производственной канализации. Качественная характеристика стоков с территории АЗС до очистки: по взвешенным веществам – 600 мг/дм³; по нефтепродуктам – 40 мг/дм³.

Производственная канализация на территории АЗС предусматривается для сбора проливов с территории заправочных островков при заправке автомобилей, а также сбор случайных проливов при сливе топлива с автоцистерн. Сброс проливов стоков запроектирован в аварийный резервуар емкостью 10 м³. Бытовые стоки от здания АЗС поступают в накопительную емкость хозяйственно-бытовых стоков объемом 10,0 м³ (выгреб). Дождевая канализация предусматривается для сбора производственно-дождевых стоков со всей территории АЗС с учетом вертикальной планировки площадки и сбора дождевых стоков с навеса и здания АЗС. Общий расход стоков в сети составляет 81 л/с. Наиболее загрязненная часть стоков с расходом 9,7 л/с направляется на локальные очистные сооружения производительностью 10,0 л/с. Выпуск очищенных стоков предусмотрен в пруд-испаритель, на выпуске – бетонный оголовок.

Для очистки сточных вод с территории АЗС запроектированы локальные очистные сооружения в составе: пескоилоотделителя ЕугоНЕК OMEGA 5000 (аналог); бензомаслоотделителя ЕугоРЕК NS10 (аналог). Для задержания основной массы взвешенных веществ принят пескоилоотделитель ЕугоНЕК OMEGA 5000 вместимостью 5,0 м³. Осадок подлежит вывозу на полигон твердых бытовых отходов. Собранные нефтепродукты вывозятся для регенерации на территориальную нефтебазу.

После локальной очистки концентрации загрязнений в стоках с территории АЗС составили: по взвешенным веществам – 15 мг/дм³; по нефтепродуктам – 0,3 мг/дм³.

Полученные данные могут служить основой при разработке рабочего проекта по реконструкции очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода и автозаправочной станции с наиболее эффективной степенью очистки.

УДК 624.011.1

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ САМОРЕЗОВ И ВВИНЧИВАЕМЫХ СТЕРЖНЕЙ НА ВЫДЕРГИВАНИЕ ВДОЛЬ ВОЛОКОН ДРЕВЕСИНЫ

И. В. БЕЛОЦЕРКОВСКАЯ, В. Я. РЕБЕКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время надежности и безопасности зданий и сооружений уделяется большое внимание. Для этого разрабатываются новые нормативные документы и корректируются уже существующие с учетом опыта эксплуатации различных зданий и сооружений за последние десятилетия. В частности дополнены и расширены существующие нормативные документы, регламентирующие положения о проектировании деревянных конструкций. Так, в России действует свод правил СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80», в Республике Беларусь действует ТКП 45-5.05-146-2009 (02250) «Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования», основанный на европейских стандартах.

Оба эти документа позиционируют соединение деревянных элементов строительных конструкций гвоздями при работе их на выдергивание поперек волокон как наиболее надежное. О соединении же деревянных элементов гвоздями при их работе на выдергивание вдоль волокон в ТКП 45-5.05-146-2009 (02250) сказано следующее: «Гвозди, забитые в торец, в заранее просверленные отверстия, а также при динамических воздействиях, считаются неспособными передавать нагрузку». Однако о несущей способности саморезов или ввинчиваемых стержней на выдергивание вдоль волокон древесины в регламентирующих документах информация отсутствует.

В связи с этим планируется провести исследование несущей способности саморезов на выдергивание вдоль волокон древесины. Методика испытаний такова: предлагается соединить два бруска сечением 25×50 мм и 50×150 мм и длиной 300 мм каждый, при этом соединение будет Т-образным, а саморезы пройдут сквозь горизонтальный брус толщиной 25 мм и войдут в торец вертикального бруса вдоль волокон. Поскольку толщина горизонтального бруса 25 мм, то в торец вертикального саморез будет защемляться примерно на 2/3 своей длины. Поэтому имеет смысл принимать длину саморезов в данном случае от 60 до 80 мм, чтобы свести к минимуму опасность раскалывания древесины.

Для соединения брусков предполагается применить черные оксидированные саморезы следующих размеров: 3,5×60 мм (глубина защемления 35 мм); 3,5×70 мм (глубина защемления 45 мм); 3,5×80 мм (глубина защемления 55 мм). При этом предварительно просверливать отверстие нет необходимости.

В ТКП 45-5.05-146-2009 (02250) приведены рекомендации по расстановке гвоздей, нагелей поперек волокон древесины. Руководствуясь этим, а также сделанными предположениями, предлагается предварительно принять для испытания расстояния: между осями саморезов $10d$, между осью самореза и кромкой элемента, в торец которого защемлен саморез, или кромкой элемента, который соединен с ним, смотря по меньшему расстоянию $5d$.

Порода дерева, выбранная для испытаний, – сосна, поскольку это наиболее часто применяемый вид древесины для изготовления элементов деревянных конструкций.

Также планируется провести испытания трёх образцов круглого сечения диаметром 40 мм, длиной 300 мм каждый. С ними будут соединены бруски сечением 25×50 мм, длиной 300 мм по той же схеме, что и бруски. Для такого соединения предполагается использовать черные оксидированные саморезы длиной от 60 мм до 80 мм, диаметром 3,5 мм. Правила расстановки саморезов предполагается применить те же, что и для случая соединения двух брусков, материал для испытаний – сосна.

Схема испытаний следующая: концы горизонтального бруска будут закреплены в захватах машины, к верхнему бруску будет приложено выдергивающее усилие. Длина образцов выбрана из соображений влияния местных напряжений, возникающих вдоль заземленной части стержня. Предполагается, что при выбранной длине образцов эти напряжения не будут оказывать существенного влияния на результат испытаний.

Результаты испытаний могут зависеть от влажности древесины, поэтому предполагается произвести измерения влажности образцов.

Если по итогам исследований будет сделан вывод о том, что несущая способность саморезов на выдергивание вдоль волокон древесины не отличается от несущей способности аналогичного соединения на вклеиваемых стержнях или же значения будут сопоставимы, то такое соединение можно будет использовать для скрепления элементов деревянных конструкций (например, сопряжение пояса деревянной фермы (арки) и распорки). Иначе говоря, должна быть доказана надежность данного соединения.

УДК 721/728.004.62/.63

ANALIZ RASCHETNYKH METODOV OЦENKI ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А. Н. БУЛАВКО, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В процессе эксплуатации здания и сооружения, независимо от их капитальности, подвергаются материальному (физическому) износу (ФИ). Величина ФИ дает представление о техническом состоянии конструктивных элементов и всего здания (сооружения) в целом и определяется дефектами и повреждениями конструкций (элементов). Этот показатель является количественным, выраженным в относительной величине (процентах) или в абсолютном (стоимостном), определяющим потерю стоимости от первоначальной величины. В системе технической эксплуатации ФИ зданий и сооружений является важнейшим показателем, определяющим потребность в том или ином ремонте.

При массовой оценке технического состояния зданий и сооружений или отсутствия возможности их визуального осмотра применяют расчетные методики определения физического износа, основанные на временном методе определения физического износа. Первую такую методику еще в XIX веке разработал архитектор Росс. Далее это направление активно развивалось российскими учеными В. С. Сроковским, С. К. Балашовым, В. И. Бабакиным и др. Большинство из этих методик основаны на использовании групп капитальности зданий и сооружений и условий их эксплуатации.

Рассмотрим некоторые основные методики и сравним их результаты.

В методе архитектора Росса ФИ определяется в зависимости от условий эксплуатации здания, при этом для зданий любой группы капитальности, достигших нормативного срока службы, ФИ составляет 100 % независимо от условий эксплуатации.

Метод НИИЭС Госстроя предназначен для определения ФИ зданий первой и второй групп капитальности. По данному методу для зданий I группы капитальности (с нормативным сроком службы 150 лет) уже на 26 году эксплуатации физический износ составит 80 %, к концу нормативного срока – 2325 %, для зданий II группы капитальности (с нормативным сроком службы 125 лет) на 21 году эксплуатации физический износ составит 80 %, на 125 году – 2585 %.

В методе В. С. Сроковского, при расчете ФИ для различных условий эксплуатации учитывается такая величина, как оставшийся срок службы здания t_1 , которая в большинстве случаев не может быть определена не только точно, но даже приблизительно. Если за данную величину принимать оставшийся срок службы до капитального ремонта здания, то для различных

формулы метода разброс в значениях ФИ для одного здания будет неприемлемо велик, при этом после капитального ремонта в большинстве зависимостей величина ФИ уменьшается до 0 %, чего в реальности быть не может. Если в качестве примера принять $t = 18$ лет, $T = 150$ лет, $t_1 = 32$ года, разброс значений величин ФИ, рассчитанных по формулам В. С. Сроковского для различных условий эксплуатации, составит от 1,4 до 82,4 %, что совершенно не позволяет получать объективные результаты оценки ФИ.

Из этого следует, что применение расчетных методик определения физического износа, основанных на временном методе определения физического износа, неприемлемо не только для отдельных зданий и сооружений, но и даже при массовых технических инвентаризациях объектов недвижимости.

Для корректной оценки ФИ зданий и сооружений необходимо использовать методики, основанные на реальной оценке поврежденности строительных конструкций по результатам осмотров и обследований. В нашей стране ФИ зданий и сооружений определяется на основе ТПК 45-1.04-208-2010 (02250). Многолетний авторский опыт обследования зданий и сооружений с оценкой их ФИ показал, что данный документ в своей основе повторяет ВСН 53-86 (р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» и ему присущи несовершенства оценки физического износа ВСН 53-86 (р):

– существенная обобщенность признаков износа (отсутствие многих значимых дефектов и повреждений); отсутствие многих конструкций не только из современных материалов, но и эксплуатирующихся десятки лет;

– неравноценность признаков износа в одном интервале ФИ, что при интерполяции по признакам износа дает одинаковое количество процентов износа признакам, описывающим различную степень повреждений;

– значительный интервал износа (0–40 % для некоторых конструкций), объединяющий в себе сразу несколько категорий технического состояния конструкций;

– недостаточная точность, а ведь зачастую разница даже в 5 % приводит к рассмотрению вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации здания (сооружения).

Поскольку в данном документе добавлена возможность оценки ФИ промышленных зданий, также необходимо (помимо уже отмеченных), отметить некоторые несовершенства:

– отсутствие описаний признаков износа многих значимых элементов либо конструкций (плиты ребристые, покрытие из стальных профилированных листов и др.);

– сложность и невозможность применения без специальных приборов и оборудования математической модели определения ФИ.

В заключение можно сделать вывод, что все приведенные данные указывают на необходимость усовершенствования существующих методик оценки и прогнозирования ФИ зданий и сооружений.

УДК 666.94

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КЛАССЫ БЕТОНА ПО ПРОЧНОСТИ С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Важнейшими факторами, определяющими долговечность эксплуатирующихся железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) являются коррозионные процессы в бетоне и стальной арматуре. В свою очередь коррозионные процессы в ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, определяются карбонизацией бетона, создающей условия для возникновения и развития коррозионных процессов различной степени интенсивности в стальной арматуре, что обуславливает актуальность исследования карбонизации бетона и ее влияния на изменение технического состояния ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях.

Многолетние исследования кинетики и механизма карбонизации бетона и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре позволили получить расчетно-экспериментальную модель карбонизации бетона и по ней расчетно-экспериментальные

модели изменения степени карбонизации во времени по сечению бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15} - C^{30}/_{37}$ для различных условий эксплуатации.

Для возможности определения минимальных классов бетона по прочности в ЖБЭ и ЖБК, обеспечивающих их требуемую долговечность при эксплуатации в различных атмосферных условиях, исследовали совместно регрессионные зависимости изменения по сечению показателей щелочности поровой жидкости и степени карбонизации бетона для различных сроков и условий эксплуатации [1, 2].

В качестве граничных значений были приняты $pH = 11,8$ (значение щелочности, при котором, по термодинамическим исследованиям В. И. Бабушкина, бетон теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре) и $pH = 11,2$ (поскольку, в соответствии с авторскими исследованиями [1], при $pH \approx 11,0$ устойчиво наблюдается начало развития коррозии стальной арматуры в соответствующих условиях). Получили значения степеней карбонизации, соответственно $СК \approx 17$ и 27% .

Анализировали возраст бетона толщин защитного слоя 20 и 25 мм (для различных условий эксплуатации), при котором степень его карбонизации достигает граничных значений, и по результатам анализа определили минимальные классы бетона по прочности, которые возможно рекомендовать при проектировании ЖБЭ и ЖБК для различных условий эксплуатации с обеспечением межремонтного периода 25 и 50 лет без применения специальных мер по предотвращению коррозии стальной арматуры.

Результаты исследований приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1 – Условия сельскохозяйственных помещений

Параметр	Степень карбонизации, %			
	17 (pH = 11,8)		27 (pH = 11,2)	
	Прогнозируемый возраст, лет			
Толщина защитного слоя, мм:	25	50	25	50
20	$>C^{30}/_{37}$	$>>C^{30}/_{37}$	$C^{18}/_{22,5}$	$C^{22}/_{27,5}$
25	$C^{25}/_{30}$	$C^{30}/_{37}$	$C^{16}/_{20}$	$C^{16}/_{20}$

Таблица 2 – Условия открытой атмосферы

Параметр	Степень карбонизации, %			
	17 (pH = 11,8)		27 (pH = 11,2)	
	Прогнозируемый возраст, лет			
Толщина защитного слоя, мм:	25	50	25	50
20	$C^{30}/_{37}$	$>C^{30}/_{37}$	$C^{16}/_{20}$	$C^{20}/_{25}$
25	$C^{20}/_{25}$	$C^{28}/_{35}$	$C^{12}/_{15}$	$C^{16}/_{20}$

Таблица 3 – Условия общественных помещений и промышленных зданий с неагрессивной средой

Параметр	Степень карбонизации, %			
	17 (pH = 11,8)		27 (pH = 11,2)	
	Прогнозируемый возраст, лет			
Толщина защитного слоя, мм:	25	50	25	50
20	$C^{30}/_{37}$	$>C^{30}/_{37}$	$C^{16}/_{20}$	$C^{18}/_{22,5}$
25	$C^{22}/_{27,5}$	$C^{25}/_{30}$	$C^{12}/_{15}$	$C^{16}/_{20}$

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 с.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЭНДВИЧ-ОБОЛОЧКИ ПРИ ЕЕ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ СЛОЕВ

С. А. ВОРОБЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Представлена постановка задачи о динамическом нагружении круговой цилиндрической оболочки, выполненной из изотропных материалов в виде трехслойного пакета. Пакет несимметричен

по высоте относительно срединной поверхности жесткого несжимаемого в поперечном направлении заполнителя. На первом этапе постановки задачи материалы слоев считаются линейно упругими. Применив вариационный принцип Гамильтона – Остроградского, используя кинематические гипотезы С. П. Тимошенко для каждого слоя и условия непрерывности перемещений на границах контакта слоев, получены уравнения движения оболочки в перемещениях для малых деформаций.

Демпфирующие свойства материалов слоев трехслойной оболочки учитываются на основе концепции комплексного модуля упругости $E_k^* = E_k(a_k + ib_k)$, $G_k^* = G_k(a_k + ib_k)$, где E_k , G_k – модули упругости материала, $a_k = (4 - \gamma_k^2)/(4 + \gamma_k^2)$, $b_k = 4\gamma_k^2/(4 + \gamma_k^2)$, γ_k – коэффициент внутреннего трения материала k -го слоя ($k = 1, 2, 3$), i – мнимая единица. Уравнения движения оболочки в этом случае получаются заменой в уравнениях идеально упругой конструкции модулей упругости E_k , G_k на соответствующие операторы E_k^* , G_k^* :

$$[M]\{\ddot{U}\} + [\tilde{L}]\{U\} = \{F\},$$

где $[M]$ – матрица масс; $\{U\}^T = \{u, v, w, \psi_1^{(k)}, \psi_2^{(k)}\}$ – искомая вектор-функция перемещений; $u(x_1, x_2, t)$, $v(x_1, x_2, t)$ – тангенциальные перемещения точек срединной поверхности заполнителя в направлении координатных осей (линий главных кривизн оболочки) x_1 и x_2 соответственно; $w(x_1, x_2, t)$ – прогиб; $\psi_1^{(k)}(x_1, x_2, t)$ и $\psi_2^{(k)}(x_1, x_2, t)$ – полные углы поворота прямолинейного элемента k -го слоя в координатных плоскостях x_1Oz и x_2Oz ; $[\tilde{L}] = [\tilde{l}_{ij}]$ ($i, j = 1, \dots, 9$) – матрица, элементами которой являются линейные дифференциальные операторы по переменным x_1 и x_2 с постоянными комплексными коэффициентами; $\{F\}$ – вектор нагрузок.

Рассмотрены следующие модельные задачи: воздействие ударного импульса: $q_n(x_1, x_2, t) = \delta(t)\delta(x_1 - x_{1p})\delta(x_2 - x_{2p})$; воздействие сосредоточенной силы $F_0 \exp(-i\varphi t^2/2)\delta(x_1 - x_{1p})\delta(x_2 - x_{2p})$ на верхний несущий слой оболочки; стационарные вынужденные колебания оболочки от вибрационной нагрузки $q_n(x_1, x_2, t) = \delta(x_1 - x_{1p})\delta(x_2 - x_{2p})e^{i\varphi t}$. Здесь F_0 – амплитуда возмущающей силы, φ – скорость изменения частоты, $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака, x_{1p} и x_{2p} – координаты точки воздействия нагрузки. Решение сформулированных начально-краевых задач построено на основе методов Фурье и преобразования Лапласа по времени. Стационарные вынужденные колебания исследовались на основе метода комплексных амплитуд. Специальный выбор координатных функций у компонентов вектора перемещений $\{U\}$ в следующем виде:

$$u = \sum_{m,n} \tilde{U}_{mn}(t) \cos(m\varphi) \sin(\tilde{n}x), \quad v = \sum_{m,n} \tilde{V}_{mn}(t) \sin(m\varphi) \cos(\tilde{n}x),$$

$$w = \sum_{m,n} \tilde{W}_{mn}(t) \sin(m\varphi) \sin(\tilde{n}x), \quad \psi_1^{(k)} = \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{1mn}^{(k)}(t) \cos(m\varphi) \sin(\tilde{n}x),$$

$$\psi_2^{(k)} = \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{2mn}^{(k)}(t) \sin(m\varphi) \cos(\tilde{n}x), \quad \tilde{n} = n\pi/L \quad (k = 1, 2, 3)$$

обеспечивает автоматическое удовлетворение однородных граничных условий свободного опирания кромок на жесткие неподвижные опоры, которые можно представить в перемещениях: $u_1 = v_2 = w = \psi_1^{(k)}|_{x_1=0} = \psi_2^{(k)}|_{x_2=0} = 0 \quad (k = 1, 2, 3)$.

УДК 666.972

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТА

С. В. ГУЩИН, А. А. ДРОЗД, В. В. БАБИЦКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Современная практика строительства предполагает широкое использование разнообразных химических добавок в бетоне (пластификаторы, ускорители твердения и пр.), способных кардинально

изменять свойства бетонных смесей и бетонов в необходимых направлениях. Производителей различных модификаторов бетона в Республике Беларусь, а также поставщиков добавок из-за рубежа достаточно, что обуславливает и зримую конкуренцию в данной нише технологии бетона. Все добавки широко рекламируются, при этом выделяются именно положительные свойства добавок (если они, конечно, есть), а отрицательные зачастую замалчиваются, что представляется вполне естественным. Закономерен вопрос: как рядовому инженеру-технологу разобраться в действительности той или иной добавки. При этом надо иметь в виду, что эффективность действия добавок не универсальна, а зависит от множества факторов, в первую очередь, от вида и расхода цемента, водоцементного отношения, условий твердения бетона и пр. Методики оценки свойств добавок существуют, но практически все они трудоемки, не оперативны, поскольку обычно привязаны к возрасту бетона 28 суток, требуют достаточно высокой квалификации лица, проводящего испытания. Отсюда следует вывод: строительным лабораториям настоятельно необходима методика, позволяющая оперативно оценить эффективность химической добавки, причем на используемом в настоящее время на данном предприятии цемента.

В связи с изложенным БНТУ была предложена именно такая упрощенная методика, основывающаяся на взаимосвязи свойств химических добавок и кинетики тепловыделения цемента. В течение суток изучается изменение температуры цементного теста с водосодержанием, соответствующим предполагаемому водоцементному отношению бетонной смеси. Затем строится график изменения температуры цементного теста относительно начальной. Анализ его позволяет выявить: стабильность температуры в течение некоторого начального промежутка времени (это так называемый «индукционный период»), что определяет в основном начало схватывания цемента ($\tau_{инп}$); последующий подъем температуры в течение некоторого времени (τ_{tmax}) до некоего экстремума (t_{max}), а также скорость подъема температуры (V_t). Эти показатели характеризуют интенсивность структурообразования цементного теста, поскольку процесс изменения температуры определяется кинетикой гидратации цемента.

Рассмотрим действенность методики на примере исследования некоторых добавок, представленных, в частности, СООО «СТАХЕМА-М» (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры твердеющего цементного теста

Добавка	Дозировка добавки, % от массы цемента	В/Ц	$\tau_{инп}$, ч	τ_{tmax} , ч	t_{max} , °C	V_t , °C/ч
Без добавки	–	0,30	6,0	12,5	40,5	5,3
	–	0,40	6,5	13,5	34,0	4,0
	–	0,50	7,0	14,0	25,5	2,8
Замедлитель Retardal	1,0	0,40	24,5	32,5	34,5	3,6
	1,0	0,50	15,5	23,5	19,0	1,6
Стахемент F	1,0	0,30	6,0	12,5	43,0	5,7
	1,0	0,40	6,5	14,0	36,5	4,1
	1,0	0,50	7,0	16,0	25,0	2,1
Стахемент 2000M	–	0,40	5,5	11,5	38,5	5,4
	0,5	0,40	6,0	10,0	51,5	11,4
	1,0	0,40	7,5	11,0	62,0	16,0
	1,5	0,40	6,5	9,0	46,5	16,2
Стахелюкс	–	0,28	6,0	10,0	31,0	6,3
	1,0	0,28	7,0	11,0	41,0	8,8
	1,5	0,28	8,5	13,0	37,5	7,0
	2,0	0,28	9,5	13,0	41,0	10,0
Стахемент NS	–	0,40	5,5	11,5	39,0	5,5
	1,0	0,40	5,0	11,0	43,5	6,3
	2,0	0,40	4,5	10,0	45,5	7,2
	3,0	0,40	4,5	9,5	43,5	7,5

В опытах использовали цемент ОАО «Красносельскстройматериалы» марки 500, но различных партий, поскольку испытания проводили не одновременно.

Гидратационные процессы цементного теста без добавок полностью отвечают общепризнанным воззрениям: с увеличением водоцементного отношения с 0,3 до 0,5 возрастают длительность индукционного периода и время наступления температурного максимума, сокращаются сам температурный максимум и, что особенно зримо, скорость подъема температуры. В комплексе всё это сви-

детельствует об интенсификации гидратации цемента со снижением начального водосодержания цементного теста. Данная тенденция сохраняется и при введении различных химических добавок, что особенно ярко выражается для замедлителя процессов твердения Retardal.

Обратимся, например, к прайс-листу СООО «СТАХЕМА-М» в части добавки Стахемент NS: «Ускоритель твердения для бетонов и растворов... Снижает точку замерзания жидкой фазы в бетоне. Действительно, добавка является ускорителем твердения. При этом снижается и температура замерзания цементного теста с данной добавкой (установлено по аналогичной методике).

Таким образом, предложена простая, доступная для строительных лабораторий методика оперативной оценки эффективности химических добавок, что, безусловно, будет способствовать повышению технологической и технико-экономической эффективности от их применения.

УДК 69:697

К ВОПРОСУ ОБ ОСНАЩЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ

А. С. ДАВИДОВИЧ, Т. Л. ДАВИДОВИЧ, И. Н. БОГОСЛОВСКИЙ

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

Интерес к энергоэффективным домам в Беларуси постепенно растет. Это связано с утверждением комплексной программы по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов [1], а также периодически растущими ценами на энергоресурсы. Львиную долю в снижении энергопотребления энергоэффективных зданий занимает энергоэффективное инженерное оборудование, работающее за счет альтернативных источников энергии, поэтому рассмотрим одну из данных установок и целесообразность ее использования в климатических и экономических условиях Беларуси.

На конкретном примере разберем энергопотребление здания и эксплуатационные затраты на его отопление за отопительный период. В статье рассмотрены системы отопления, работающие за счет как традиционных источников энергии (твердое топливо, природный газ, электроэнергия), так и альтернативных (солнечная энергия, тепловая энергия грунта, вода, воздух).

В качестве традиционных источников рассмотрим природный газ и электроэнергию, а в качестве альтернативного источника – тепловую энергию грунта. Твердое топливо не будем учитывать при расчете традиционных систем в связи с неудобством хранения и эксплуатации данного ресурса.

Объектом расчета является одноэтажный жилой дом в г. Бресте. Отапливаемая площадь – 128 м². В доме запроектирована местная система отопления, водяная с чугунными радиаторами. Для максимального приближения к фактическому значению энергопотребления отопительных установок расчет велся не по средним температурам отопительного периода, а по фактическим значениям температур наружного воздуха каждого дня и ночи отопительных периодов трех лет. Для примера на рисунках 1 и 2 предоставлены данные о температурах и соответствующие им теплопотребление здания за отопительный сезон 2009–2010 года по данным [2]. Такой подробный расчет связан не только с фактическим энергопотреблением, но и с разными тарифами на электроэнергию в разное время суток, а также в дальнейшем с возможностью расчета бивалентно-параллельного и бивалентно-альтернативного режима работы теплового насоса.

Вначале подобраны отопительные установки, работающие на природном газе и электроэнергии. Для этого составим тепловой баланс стандартными методами для абсолютной минимальной температуры холодного периода года для г. Бреста. При наружной температуре воздуха $t_n = -36^\circ\text{C}$ [3] здание будет потреблять 14,6 кВт·ч, следовательно, отопительная установка должна обеспечивать не менее данной нагрузки. Примем газовый и электрический котел с техническими характеристиками, представленными в таблице 1 [4,5].

Имея данные о теплопотреблении и технические характеристики принятых отопительных установок, можно рассчитать годовое потребление энергоресурсов зданием за 3 года.

Таблица 1 – Технические характеристики принятого газового и электрического котла

Газовый котел		Электрический котел	
Вулкан АОГВ-16-СМЗ (Украина)		KOSPEL EKCO.R1-15 (Польша)	
Максимальная тепловая мощность, кВт	16	Максимальная тепловая мощность, кВт	15
Максимальный расход газа, м ³ /ч	1,9	Максимальный расход тока, А	3×22,8
Максимальная отапливаемая площадь, м ²	160	Максимальная отапливаемая площадь, м ²	180
Ориентировочная стоимость, у. е.	471	Ориентировочная стоимость, у. е.	841

Потребление газа газовым котлом в дневное время суток рассчитаем по формуле

$$P_i^{\text{дн}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot Q_i^{\text{дн}}}{Q_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{max}} = 1,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ – максимальный расход газа газовым котлом (см. таблицу 1); $Q_{\text{max}} = 16 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ – максимальная тепловая мощность (см. таблицу 1); $Q_i^{\text{дн}}$ – теплотребление здания в дневное время i -х суток, кВт·ч (рисунок 3).

Потребление газа газовым котлом в ночное время суток рассчитаем по формуле

$$P_i^{\text{н}} = \frac{P_{\text{max}} Q_i^{\text{н}}}{Q_{\text{max}}}, \quad (2)$$

где $Q_i^{\text{н}}$ – теплотребление здания в ночное время i -х суток, кВт·ч.

Имея данные ночного и дневного потребления газа, вычислим расход газа газовым котлом за отопительный период:

$$P_{\text{год}}^x = \sum_{i=1}^n (P_i^{\text{дн}} \cdot n) + (P_i^{\text{н}} \cdot k), \quad (3)$$

где $n = 6$ – количество часов ночного времени суток, ч; $k = 16$ – количество часов дневного времени суток, ч.

По итогам расчета расход газа на нужды отопления за отопительный период составляет:

– 2009–2010 гг. – $P_{\text{год}}^1 = 1804,4 \text{ м}^3$;

– 2010–2011 гг. – $P_{\text{год}}^2 = 1791,6 \text{ м}^3$;

– 2011–2012 гг. – $P_{\text{год}}^3 = 1730,4 \text{ м}^3$.

Зададимся среднегодовым потреблением газа как среднеарифметическим значением расхода газа за три рассчитанные отопительные периода:

$$P_{\text{год}}^{\text{ср}} = \frac{P_{\text{год}}^1 + P_{\text{год}}^2 + P_{\text{год}}^3}{3} = 1776,5 \text{ м}^3. \quad (4)$$

Затем, имея все необходимые данные, рассчитаем эксплуатационные затраты при использовании газового котла в качестве отопительной установки, перемножив расход газа на соответствующий ему тариф, действующий с 01.03.2015 г. (в отопительный период при потреблении газа до 3000 м^3 , цена за 1 м^3 газа составляет 623,3 бел. руб.) [6]:

$$C_{\Gamma} = P_{\text{год}}^{\text{ср}} \cdot c_{\text{газ}} = 1776,5 \cdot 623,3 = 1107292 \text{ бел. руб.}$$



Рисунок 1 – Фактические значения температур наружного воздуха для г. Бреста за отопительный период 2009–2010 гг.

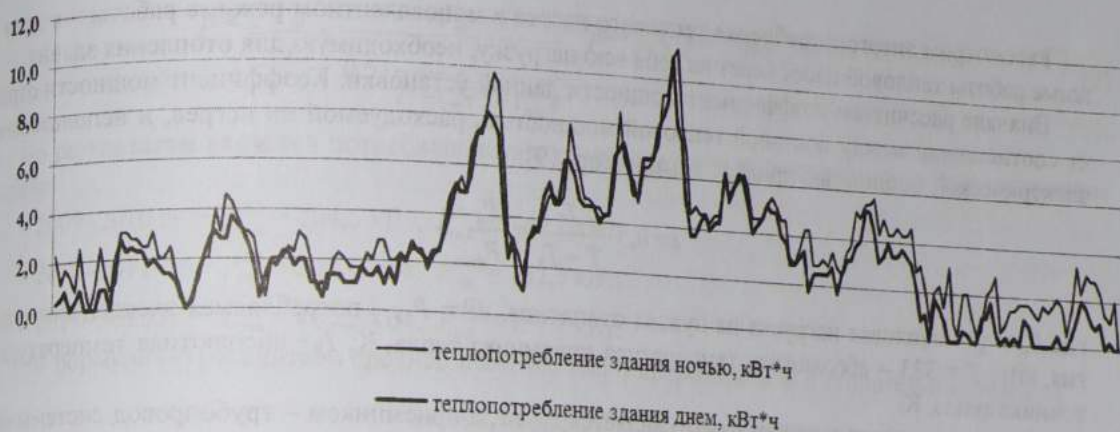


Рисунок 2 – Фактическое теплопотребление рассматриваемого здания за отопительный период 2009–2010 гг.

Следующей отопительной установкой, по которой велись расчеты, являлся электрический котел. Рассчитаем расход электроэнергии для электрического котла по формулам (1), (2), но перед этим найдем величину максимального энергопотребления котла для трехфазной сети P_{\max} по формуле

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 22,8 = 15006,5 \text{ Вт} = 15 \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $U = 380$ – напряжение в точке подключения, В [7]; $I = 22,8$ – номинальное потребление тока, А [7]; Затем вычислим расход электроэнергии на нужды отопления за отопительный период по формулам:

$$P_{\text{год}}^{\text{нх}} = \sum_{i=1}^n P_i^{\text{н}}; \quad P_{\text{год}}^{\text{днх}} = \sum_{i=1}^n P_i^{\text{дн}}, \quad (6)$$

Расход электроэнергии на нужды отопления за отопительный период составляет:

– 2009–2010 гг. – $P_{\text{год}}^{\text{н1}} = 727,6$ кВт, $P_{\text{год}}^{\text{дн1}} = 600,1$ кВт;

– 2010–2011 гг. – $P_{\text{год}}^{\text{н2}} = 729,4$ кВт, $P_{\text{год}}^{\text{дн2}} = 587,3$ кВт;

– 2011–2012 гг. – $P_{\text{год}}^{\text{н2}} = 696,3$ кВт, $P_{\text{год}}^{\text{дн2}} = 582,2$ кВт;

По формуле (4) рассчитаем среднее значение энергопотребления за 3 отопительных периода и получим

$$P_{\text{год}}^{\text{ср.н}} = 717,8 \text{ кВт}; \quad P_{\text{год}}^{\text{ср.дн}} = 589,9 \text{ кВт}.$$

Получив все необходимые данные для расчета, вычислим эксплуатационные затраты при использовании электрического котла в качестве отопительной установки перемножив расход электроэнергии на соответствующий ей тариф, действующий с 01.03.2015 г. (электрическая энергия для нужд отопления и горячего водоснабжения с присоединенной мощностью оборудования более 5 кВт: в период минимальных нагрузок с 23.00 до 6.00 составляет 953,8 бел. руб., в остальное время суток – 2861,4 бел. руб.) [8]:

$$C_{\text{э}} = P_{\text{год}}^{\text{ср.н}} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{н}} + P_{\text{год}}^{\text{ср.дн}} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{дн}} = 717,8 \cdot 953,8 + 589,9 \cdot 2861,4 = 2372576 \text{ бел. руб.}$$

По полученным данным можно сказать, что электрический котел уступает газовому как в единовременных затратах (стоимость оборудования), так и в эксплуатационных (затраты на энергоресурсы). Однако электрический котел может иметь смысл использования при отсутствии газопровода в районе предполагаемого строительства, и выгоднее будет установить электрический котел, несмотря на его затраты, чем подводить необходимые коммуникации к зданию.

Сравнив и выбрав наиболее оптимальную традиционную отопительную установку с экономической точки зрения, рассчитаем и сравним с выбранным вариантом энергоэффективную отопительную систему в виде рассольно-водяного теплового насоса Buderus Logatherm WPS6-17 (Германия) с горизонтальным грунтовым коллектором на глубине 1,5 м от поверхности земли и отопительной мощностью 17 кВт (рисунок 3).