

УДК

Системный анализ факторов надежности и долговечности северных бетонных плотин

М. А. Садович¹, А.М. Курицына¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: Статья поступила 10.09.2012, принята 16.11.2012

Можно предвидеть, что интерес к исследованиям состояния длительно эксплуатируемых бетонных плотин будет неуклонно расти по мере их старения. Достоверные оценки изменений прочности и структуры бетона, особенностей процессов коррозии, последствий от воздействия мороза в сочетании с водонасыщением и другие могут рассматриваться как часть систематического мониторинга ответственных бетонных конструкций, к которым, безусловно, относятся плотины. Учитывая, что наиболее крупные северные плотины России сооружались в 60 ÷ 70-ых годах двадцатого века, продолжительность эксплуатации составляет к настоящему времени 40 ÷ 50 лет. Указанного срока достаточно для обнаружения последствий воздействия эксплуатационной среды на состояние бетона. В соответствии с классификацией взаимодействий в системе «бетон – среда» определялись зоны плотин, в привязке к которым были выполнены комплексные исследования бетона.

Ключевые слова: плотина, бетон, прочность, коррозия, фильтрация, трещина.

System analysis of reliability and durability factors of north concrete dams

М.А. Sadovich¹, А.М. Kuritsyna¹

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: The article received 10.09.2012, accepted 16.11.2012

One can expect that the interest in the investigation of the condition of the long-exploited concrete dams will grow steadily with their aging. The reliable estimates of the changes in concrete strength and structure, corrosion process features, frost action effects coupled with water saturation and some other characteristics can be considered as part of systematic monitoring of critical concrete structures. Dams are undoubtedly referred to them. Taking into consideration the fact that the largest Russian Northern dams were built in the 1960s - 1970s, their service life has been 40-50 years by now. The indicated period is sufficient enough to detect the consequences of the operational environment effect on the concrete condition. In accordance with the interactions classification in the "concrete - environment" system, the dams areas were identified to carry out the joint survey of concrete.

Интерес к оценке состояния эксплуатируемых бетонных сооружений различного назначения и методам их ремонта неуклонно растет во всем мире, т. к. срок службы многих из них приближается к предельному. По существу, речь идет о повышении долговечности ответственных конструкций за счет их обновления путем проведения ремонтных работ. В полной мере это относится к длительно эксплуатируемым северным бетонным плотинам, которые подвергаются периодической диагностике, с тем, чтобы предупредить те или иные отказы или существенно понизить их вероятность.

Следует, очевидно, конкретизировать такие понятия, как долговечность и надежность северных бетонных плотин, подавляющее большинство которых относится к гравитационным. При рассмотрении проблемы надежности бетонных плотин [1] возникает комплекс вопросов, связанных с изысканиями, проектированием, определением вероятных сочетаний нагрузок и др. При этом под надежностью понимается «свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных ре-

жимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта» [2].

В эксплуатационный период надежность, или безотказность, плотин тесно связана с сохраняемостью и ремонтпригодностью. Надежность отремонтированной плотины может существенно измениться в ту или иную сторону, поскольку зависит от надежности ремонта, что в действительности и имеет место. Так, на ряде секций Усть-Илимской плотины был проведен ремонт напорной грани в виде тампонажа полимерными составами фильтрующих межсекционных швов и отдельных трещин. После этого отремонтированные секции плотины предстают в виде нового объекта с соответствующей надежностью.

Рассматривая долговечность как свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо, необходимо применительно к северным плотинам привести следующие уточнения. Накопленный опыт обследования состояния северных плотин [4], находящихся в эксплуатации в течение более 40 лет, свидетельствует о том, что в них, кроме общих для всех плотин процессов старения

и поверхностных разрушений, имеют место сугубо конкретные проявления слабых мест в виде локальных дефектов, потенциально опасной фильтрации и др. Как и надежность, долговечность решающим образом зависит от ремонтпригодности. В некоторых случаях после ремонта происходят существенные изменения в материале и даже конструкции объекта, который, будучи отремонтированным, становится уже другим, в т. ч. с точки зрения долговечности.

Долговечность бетона, или, точнее, бетонного тела применительно к северным плотинам проявляется в его стойкости в зонах наиболее интенсивного разрушающего воздействия эксплуатационной среды. Именно в таких местах имеет место концентрированное поверхностное разрушение бетона, т. е. истощение ресурса его долговечности. И в этом случае ремонтпригодность становится важнейшим условием возможности восстановления разрушенных участков и продления ресурса долговечности.

Таким образом, ремонтпригодность в широком смысле становится важнейшим фактором повышения, как надежности, так и долговечности бетонных плотин вообще и северных в частности.

Обеспечение надежности сооружения на стадии проектирования его конструкции – необходимое, но недостаточное условие, гарантирующее его длительную и успешную эксплуатацию при минимальных затратах на ремонт.

Важно, чтобы процесс возведения плотин был также запроектирован и реализован с достаточной надежностью. Если применительно к готовой конструкции мы говорим об отказах, то при реализации процесса возведения речь идет о сбоях или нарушениях технологического регламента, поставке некачественных материалов и др.

Изучение отдельных аспектов проблемы надежности возведения плотин, а именно контроля качества материалов, пооперационного контроля за технологическими процессами, непараметрических методов контроля за соблюдением технологического регламента, отражено в ряде работ [4 и др.]. Однако комплексный подход к проблеме, позволяющий дать оценку надежности процесса в целом, пока неизвестен. Ниже рассматривается процесс приготовления и укладки бетона в северные плотины и предлагаются некоторые подходы к оценке их надежности.

Являясь, по существу, начальным этапом комплексного процесса возведения плотин, приготовление бетона заканчивается получением промежуточного продукта в виде бетонной смеси, которая поступает на последующие технологические переделы. Предприятие – изготовитель бетонной смеси выступает в роли поставщика готовой продукции, а организация, выполняющая бетонные работы на сооружении, в роли потребителя. При этом, как следует из приведенной выше структурной схемы контроля качества, основной объем контроля, включая выходной контроль готового продукта, осуществляется поставщиком.

Как следует из практического опыта строительства плотин, потребитель в редких, особо ответственных случаях организует специальный входной контроль качества бетонной смеси. В обычных условиях функ-

ции такого контроля – в руках непосредственных производителей работ, бетонщиков, реакция которых в случае попадания неудобоукладываемой смеси может быть весьма выразительной.

Отношения между поставщиком и потребителем в части приемки продукции по количественным критериям ее качества регламентируются ГОСТ Р.50779.30-95, в котором нормируется риск потребителя в зависимости от степени доверия поставщику.

Под риском потребителя понимается вероятность приемки партии (в нашем случае порции) продукции, обладающей браковочным уровнем дефектности. В нашем случае, потребитель рискует получить порцию брака, объем которой зависит от следующих факторов:

- соответствие возможностей по выпуску продукции определенному качеству требованиям потребителя;
- надежность и оперативность выходного и входного контроля по выбраковке продукции;
- возможность утилизации брака и др.

Последствия попадания брака в конструкцию зависят от соотношения между его объемом и массивностью конструкции, а также степенью ее ответственности. Например, если для блоков внутренней зоны массивной гравитационной плотины можно допустить попадание одного-двух замесов «сухого» бетона, то для напорной или низовой грани такая ситуация становится конфликтной и требует принятия специальных мер.

Рассмотрим риск потребителя получить не соответствующую его требованиям продукцию (бетонную смесь) в зависимости от возможностей изготовителя обеспечить выполнение предъявляемых требований.

Формулировка требований потребителя к изготовителю должна содержать количественные критерии и их доверительную вероятность. Так, одно из основных требований по удобоукладываемости бетонной смеси может быть сформулировано по одному из следующих вариантов:

- ограничение по верхней – J_{\max} – и нижней – J_{\min} – границам удобоукладываемости;
- ограничение по верхней границе – J_{\max} ;
- ограничение по нижней границе – J_{\min} .

Границы удобоукладываемости устанавливаются потребителем с учетом возможностей уплотняющей техники и условий производства работ. При ручном уплотнении верхняя граница устанавливается в зависимости от соответствующих параметров ручных вибраторов, а нижняя – от условий производства работ (бетонщики не должны «тонуть» при уплотнении подвижной смеси). При механизированном уплотнении также потребуются установка верхней и нижней границы по тем же соображениям (не должны «тонуть» бетоноукладочные механизмы).

Односторонние границы могут назначаться в случае использования, например, литых самоуплотняющихся бетонных смесей и др.

Доверительная вероятность устанавливаемых границ, в определенной мере, величина, назначаемая в зависимости от того, насколько строги предъявляемые требования. Общепринятая доверительная вероятность $p = 0.95$, на наш взгляд, вполне достаточна для технологии вибрированного бетона.

Если поставщик точно выполняет требования потребителя, то риск потребителя, α , в этом случае составит: $\alpha = 1 - p = 0.05$.

В том случае, если возможности реализованной технологии недостаточны для выполнения требований потребителя, риск потребителя растет, и увеличивается нагрузка на контроль, т. к. соответственно растет и объем брака.

В редких случаях возможности технологии выше предъявляемых требований, тогда появляются резервы, умелое использование которых – в руках технолога.

Рассмотрим на примере строительства Усть-Илимской плотины соответствие возможностей реализованных технологий приготовления бетона требованиям к качеству бетонной смеси при укладке и уплотнении.

Уплотнение бетонной смеси в блоках Усть-Илимской плотины проводилось тяжелыми ручными вибраторами, в связи с чем допустимые границы колебаний подвижности бетонной смеси на месте укладки составляли (рис. 1):

- по удобоукладываемости (жесткости «Ж» по техническому вискозиметру) – $2 \div 16$ сек.;
- по соответствующей осадке конуса ОК = $0 \div 6$ см.

При доверительной вероятности $p = 0.95$ допустимый размах колебаний удобоукладываемости соответствует $\pm 2\sigma = \pm 2 \times 3.5$ сек. и дисперсии 12.25 сек.^2 .

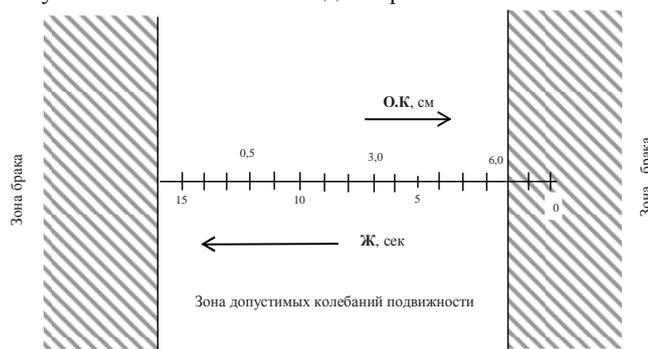


Рис. 1. Допустимые колебания подвижности бетонной смеси (по опыту строительства Усть-Илимской плотины).

Приведены данные о возможности обеспечения определенных качественных показателей (в т. ч. подвижности) в зависимости от реализуемых технологий (технологических сочетаний). Проведем сравнение требуемой и прогнозируемой для различных технологических сочетаний дисперсий подвижности бетонной смеси (таблица 1).

Таблица 1

Возможности выполнения требований по допустимому размаху колебаний подвижности и уровень риска потребителя

Технологические сочетания	Марка бетона	Дисперсия подвижности, сек. ²		Риск потребителя
		прогнозируемая	требуемая	
I. Зимняя сортировка без промывки кр. фракций на УКГ	150, 200 W-4, W-8	10.9	12.25	0,036
II. Зимняя сортировка с промывкой кр. фракций на УКГ	150,200 W-4, W-8	14.2	12.25	0,072
III. Летняя сортировка с промывкой кр. фракций на УКГ (песок хорошо отстоявшийся)	150, 200 W-4, W-8	12.3	12.25	0,046
IV. Летняя сортировка (чистые, хорошо отстоявшиеся заполнители «идеальное» сочетание)	150, 200 W-4, W-8	8.4	12.25	0,016
V. Пром. бетон (несортированная п.- гр. смесь, намывная из русла Ангары)	200 (B 15)	19.4	16.0	0,072

Риск потребителя определялся как вероятность попадания в зону недопустимых колебаний подвижности бетонной смеси, полагая, что распределение подвижности соответствует нормальному закону.

Как уже отмечалось, при увеличении риска потребителя возникает дополнительная нагрузка на контроль, как со стороны поставщика, так и потребителя. Практика строительства полностью подтвердила указанную связь.

Применение технологий с уровнем риска более 0.04-0.05 особенно остро ощущалось по возрастанию брака. Так, вынужденное временное использование на

Усть-Илимской строительной площадке несортированной песчано-гравийной смеси для бетона фундаментных конструкций привело к существенным затратам на выбраковку и утилизацию забракованной продукции [3]. Наряду с удобоукладываемостью, которая при укладке бетона в конструкцию имеет решающее значение, контролируются и другие параметры бетонной смеси и бетона.

Важно отметить, что предлагаемый системный анализ процесса и принципы его контроля создают единую картину, отражающую многообразие внутренних взаимосвязей и временной характер процесса.

Конечной целью всех усилий должна быть реализация такой технологии, которая с достаточной надежностью или минимальным риском обеспечит выполнение нормативных и назначаемых по условиям строительства требований к бетонной смеси и бетону.

Литература

- 1 Стефанишин Д.В., Шульман С.Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений Стефанишин, С.Г. Шульман. СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. 51 с.
- 2 Сольский С.В., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2006.- 300 с.
- 3 Садович М.А. Гершанович Г.Л. О бетонах на несортированный песчано-гравийной смеси (по опыту строительства ГЭС Ангарского каскада) // Энергетическое строительство. 1985. № 10. С.50-54.
- 4 Садович М.А. Северные бетонные плотины. Технология бетона и бетонных работ. Стойкость в процессе эксплуатации. Некоторые

аспекты надежности. Братск: изд-во. Братского государственного университета, 2011. С.339.

Литература

- 1 Стефанишин Д.В. Проблемы надежности гидротехнических сооружений / Д.В. Стефанишин, С.Г. Шульман.- СПб.: ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева, 1991.- 51 с.
- 2 Сольский С.В. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов / С.В. Сольский, Д.В. Стефанишин, О.М. Финагенов, С.Г. Шульман.- СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2006.- 300 с.
- 3 Садович М.А. О бетонах на несортированный песчано-гравийной смеси (по опыту строительства ГЭС Ангарского каскада) / М.А. Садович, Г.Л. Гершанович // Энергетическое строительство.- 1985.- № 10.- С.50-54.
4. Садович М.А. Северные бетонные плотины. Технология бетона и бетонных работ. Стойкость в процессе эксплуатации. Некоторые аспекты надежности. Братск, изд. Братского государственного университета, 2011, стр.339

УДК 662.6

Математическое моделирование состава твердых топлив на энергетическую эффективность котлов

С.А. Семенов¹, Д.Ю. Куриганов¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: energosave@mail.ru
Статья поступила 15.10.2012 принята 20.11.2012

С целью экономии затрат на топливо теплоисточники вынуждены переходить на непроектные, менее качественные марки углей. В статье рассмотрены вопросы прогнозирования энергетических показателей паровых котлов при сжигании непроектных топлив. Предложена математическая модель, включающая блоки расчета теплофизических свойств теплоносителей и теплового расчета котлов. С применением пакета MathCAD получены аппроксимационные зависимости термодинамических параметров дымовых газов от температуры. При помощи встроенного в MS Excel языка программирования Visual Basic for Applications разработана программа теплового расчета паровых котлов, работающих на различных углях и их смесях. Влияние состава топлива на КПД котла рассматривалось путем поочередного перебора значений элементарного состава углей. Возможности перевода теплоисточников на непроектные виды топлива исследовались на примере парового котла БКЗ-75-39 ФБ при сжигании бурых углей трех месторождений: Ирбейского, Перяславского и Канского. Результаты расчетов показали, что в зависимости от доли каждого из трех исследуемых углей в топливной смеси значения КПД котла могут меняться в пределах 90,58 – 90,91 %. Получены целесообразные соотношения углей в топливной смеси.

Ключевые слова: математическая модель, твердое топливо, топливная смесь, сжигание углей, паровой котел, энергетическая эффективность.

Mathematical modeling of solid fuel composition influence on boilers energy efficiency

S.A. Semenov¹, D.Yu. Kuriganov¹

¹Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: energosave@mail.ru
The article received 15.10.2012, accepted 20.11.2012

To reduce the fuel costs, the heat sources are forced to switch to non-standard, lower quality coal ranks. This article analyzes the issues of forecasting the steam boilers energy indicators when non-standard fuels are combusted. We have offered a mathematical model that includes the blocks to calculate the coolant thermo-physical properties and boilers thermal design. The approximating dependences of flue gas thermodynamic parameters on temperature have been obtained using the MathCAD package. By means of the Visual Basic for Applications programming language built in MS Excel, the program for thermal calculation of coal-and blend-fired steam boilers has been developed. The fuel composition influence on boiler efficiency was studied by alternate enumeration of coal elementary composition values. The possibilities of heat source switch to non-standard fuel types were investigated on the example of the BKZ-75-39 FB steam boiler when combusting brown coals from three fields: Irbeysky, Peryaslavsky and Kansky. The calculations results have shown