



Р и с. 3. Иллюстрация к формуле расчета скорости ветра

Разработанный в ГУП ВНИИХТ комплекс программ обеспечивает контроль описанных ситуаций и позволяет проводить расчеты для неограниченного числа источников выбросов и количества выбрасываемых радионуклидов. Заключение о производительности комплекса можно сделать на основе следующих данных. Расчет на сетке, содержащей 10 000 узлов фактора разбавления, фактора безопасности, объемной концентрации и других величин для предприятия с источником выброса 30 радионуклидов, занял около 6,5 ч на персональном компьютере с процессором Celeron (тактовая частота 600 МГц) и оперативной памятью 128 Мб.

Поступила в Редакцию 22.06.01

УДК 624.012.4

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Гатауллин Р.М. (ОАО «345 механический завод»)

Отвержденные радиоактивные отходы предполагается захоранивать в железобетонных контейнерах, отвечающих требованиям безопасности на всех стадиях жизненного цикла [1], в том числе расчетной долговечности. В защитных невозвратных контейнерах размещают, длительно хранят в хранилищах, транспортируют и захоранивают в приповерхностных или подземных хранилищах твердые и отвержденные радиоактивные отходы. Поэтому необходимо, чтобы их срок службы в условиях временного хранения с сохранением защитных функций, механических и физических характеристик составлял не менее 50 лет и еще не менее 250 лет при последующем захоронении в приповерхностных или подземных могильниках как инженерный барьер.

Стандарт [1] предъявляет высокие требования к контейнеру как железобетонному изделию по прочности и плотности бетона, коррозионной стойкости при воздействии многих агрессивных факторов внешней среды, поэтому его проектированию и серийному изготовлению предшествовали исследовательские работы по обоснованию физико-механических свойств бетона и защитных характеристик контейнера от ионизирующего излучения, опытные формовки изделий и натурные испытания в объеме требований ГОСТа. По всем качественным показателям получены технические характеристики бетона и контейнера, в целом превышающие нормы [1].

Железобетонный контейнер, изготавливаемый ОАО «345 механический завод» по заказу концерна «Росэнергоатом» и конструкторской документации ВНИПИЭТа, — прямоугольной формы, полезным объемом 1,5 м³ с толщиной стен от 150 до 170 мм, днища и съемной крышки — 170 мм. Стены, днище и крышка армированы двумя рядами сеток, размер арматурной ячейки 100×100 мм, арматура класса АШ диаметром 8 мм.

Контейнер изготовлен из бетона класса В50(М700) по прочности на сжатие и марок F300 и W12 по морозостойкости и водонепроницаемости. Он прошел необходимые испытания и имеет сертификат соответствия № РОСС.RU/0001/АЭ00.50.10.0013. При разработке предполагали, что наиболее неблагоприятными для его долговечности являются условия приповерхностного захоронения. При таком захоронении следует ожидать, что железобетонные контейнеры могут быть подвержены попеременному замораживанию и оттаиванию, воздействию подпора воды за счет верховодки 0,1—0,15 атм, коррозии вследствие воздействия растворов сульфатных и хлористых солей, микроорганизмов.

На первом этапе временного хранения в течение 50 лет основными требованиями являются сохранение бетоном высокой прочности и плотности, исключение образования трещин при погрузочно-разгрузочных работах, перевозках и штабелировании, предотвращение развития коррозионных процессов.

Достижение высоких качественных показателей контейнера включало разработку и изготовление специальных металлических форм и вибрационного оборудования, технологии приготовления бетонных смесей и бетонирования изделий, методик оперативного и точного анализа качества компонентов бетона и др.

В технологии получения блоков высокой прочности и долговечности реализованы следующие принципы:

разработан и освоен состав бетона с низким водоцементным отношением (0,3—0,32) при стабильной удобоукладываемости бетонной смеси в интервале 6—9 см осадки стандартного конуса;

созданы условия для формирования высокой плотности и низкой проницаемости бетона, что подтверждено показателями его водонепроницаемости, кинетики водонасыщения и морозостойкости;

упреждено развитие усадки на стадии твердения и последующем взаимодействии с внешней средой, содержащей углекислый газ.

Бетон с водоцементным отношением 0,3—0,32 при использовании портландцемента марок М500 без минеральных добавок и заполнителей, удовлетворяющего по показателям качества соответствующим стандартам, обладает прочностью на сжатие от 70 до 90 МПа. Такой разброс обусловлен широким диапазоном допуска качественных характеристик компонентов бетона. Например, стандарту отвечают заполнители, содержащие от 0 до 3% пылевидных и глинистых частиц, цемент с нормальной густотой цементного теста от 22 до 28%. Поэтому для стабильного качества бетона и контейнера разработано семейство составов бетона из 38 разновидностей. Все составы оптимизированы в отношении прочности, имеют существенный запас по отношению к требованиям технических условий на контейнер.

Показателем высокого качества бетона контейнера и стабильности его физико-механических свойств является коэффициент вариации прочности. По результатам обработки испытаний 60 серий образцов он составил 4,8%, что существенно ниже 13,5%, принятого в стандарте [2].

Одним из главных факторов, снижающих технические свойства бетона и долговечность железобетонных изделий, является его усадка. Механизм проявления усадки хорошо изучен [3—5] и зависит от многих факторов: состава бетона, режима твердения в процессе набора прочности, способа ухода за бетоном, конструкции контейнера. Перечисленные факторы учтены в технологической документации на изготовление контейнера, и их незначительное проявление не приводит к образованию трещин, что подтверждается испытаниями контейнера на водонепроницаемость.

В перспективе возможна усадка бетона от карбонизации с последующим образованием микротрещин. Это явление особенно важно для железобетонных изделий рассматриваемого типа. Сущность ее состоит в следующем. Углекислый газ, содержащийся в атмосфере, вступает в химическую реакцию с имеющимся в бетоне в свободном состоянии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и частично с другими новообразованиями [6]. Образуются прочные и плотные соединения (карбонаты кальция), которые обладают высокими вяжущими свойствами, но объем карбоната кальция меньше, чем $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Связывание углекислого газа происходит, в основном, в тонком слое бетона (толщиной несколько миллиметров). Слой карбонизированного бетона постепенно перемещается вглубь. Чем толще становится карбонизированный слой, тем медленнее перемещается «фронт» карбонизации в глубину бетона [7], так как повышается сопротивление диффузионному прониканию углекислого газа в толщу. На расчете толщины карбонизации слоя бетона в немалой степени основана толщина защитного слоя арматуры.

Особенность карбонизации состоит в ликвидации щелочной среды и снижении водородного показателя с pH 12,5—13,5 до 7—9. Известно, что цементный камень в исходном состоянии пассивирует сталь, т.е. защищает от коррозии благодаря высокой щелочности жидкой фазы [8]. Депассивация (активизация) поверхности стали, начало ее коррозии в бетоне связаны с уменьшением (нейтрализацией) жидкой фазы ниже определенного уровня. Таким образом, карбонизация приводит к возникновению в поверхностных слоях напряжений, которые при определенных условиях приводят к образованию трещин и лишают бетон щелочной среды, создавая условия для коррозии арматуры. Эффективным способом противодействия карбонизации является повышение плотности и прочности бетона. Бетон стоек к карбонизации, если его прочность на сжатие превышает 62,5 МПа [9], глубина карбонизации бетона, принятого для контейнера, через 300 лет составит 2 см, что меньше защитного слоя арматуры [10]. Таким образом стойкость бетона контейнеров к усадке от карбонизации обеспечена его качеством.

Важной характеристикой долговечности является морозостойкость бетона. Исследования показали, что морозостойкость принятого состава бетона для контейнера не ниже F500 при требованиях стандарта F200.

При длительной эксплуатации железобетонных изделий в определенных средах наблюдается повреждение бетона микроорганизмами [7, 11, 12]. Сущность указанного вида коррозии следующая. Кислоты, которые содержатся в продуктах метаболизма, выделяемых микроорганизмами, вызывают коррозию минералов цементного камня, разрушают щелочную среду бетона и депассивируют стальную арматуру. Проницаемость бетона для микроорганизмов зависит от плотности цементного раствора как составной части бетона. Плотность интегрально выражается водоцементным отношением. Плотный бетон с водоцементным отношением 0,3—0,4 значительно задерживает бактерии на поверхности и исключает их концентрацию и разрушительное действие [12]. Бетон для контейнеров относится к группе особо плотных, поэтому нет оснований опасаться биологической коррозии, тем не менее некоторые меры защиты предусмотрены.

Исследования и опытно-конструкторские работы позволили организовать серийный выпуск железобетонных контейнеров с высокими эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 51824-2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона.
2. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
3. Моцанский Н.А. Плотность и стойкость бетона. М.: Госстройиздат, 1951. 175 с.
4. Ли Ф. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. 645 с.
5. Шейкин А.Е., Чеховской Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
6. Гордон С.С. Прогноз долговечности железобетонных конструкций. — Бетон и железобетон, 1992, № 6, с. 23—25.
7. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
8. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1982. 533 с.
9. Смольчак Х.Г. Карбонизация бетона и коррозия арматурной стали (дискуссия). — В кн.: 5-й Межд. конгресс по химии бетона. М.: Стройиздат, 1973, с. 308.
10. Москвин В.М., Савина Ю.А., Алексеев С.Н. и др. Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред. М.: Стройиздат, 1975. 286 с.
11. Бабушкин В.И. Физико-механические процессы коррозии бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1968. 186 с.
12. Гончаров В.В., Рожанская А.М., Теплицкая Т.В. Проницаемость цементных растворов для бактерий. — Бетон и железобетон, 1989, № 1, с. 18—22.