

**05.23.07 Гидротехническое строительство**

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.82:532.59

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-43-49

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ****ЖАРНИЦКИЙ ВАЛЕРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ**, д-р техн. наук, профессор  
zharnitskiy@mail.ru**СМИРНОВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ**✉, канд. техн. наук, доцент  
sxodnyasmirnov@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Особенность гидротехнических объектов специального назначения существенно усиливает важность неправильного выбора материалов, связанного с недоучётом действующих нагрузок, условий эксплуатации и процессов старения (износа) в результате взаимодействия с продуктами накопления и хранения. Интенсивность процесса деградации связана с действием силовых факторов, физических полей, химических веществ, живых организмов и др. Поэтому важнейшим фактором, определяющим долговечность объекта, является скорость деградации его конструкций. Помимо аналитического и численного подходов, деградация бетона рассматривается и с точки зрения стадий его разложения. Наиболее слабым с точки зрения коррозии компонентом бетона является цементный камень, который и определяет интенсивность разрушения бетона в зависимости от механизма взаимодействия с агрессивной средой. Постоянное воздействие агрессивной среды на компоненты бетона определяет развитие процессов коррозии и в самой его толще. В ходе коррозии материала бетона проявляются различные механизмы переноса агрессивных веществ. Это свидетельствует о том, что при деградации строительных конструкций из бетона или железобетона происходит сложнейший комплекс преобразований, приводящих к изменению свойств бетона в конструкциях.

**Ключевые слова:** плотины накопителей твёрдых отходов, средний ресурс, средний срок службы, расчетный срок службы, долговечность, отказы, деградация, оценка долговечности, дегидратация цементного камня, коэффициент диффузии, коррозия бетона, сорбционные свойства бетона

**Формат цитирования:** Жарницкий В.Я., Смирнов А.П. Факторы, влияющие на интенсивность износа бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических объектов // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 43-49. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-43-49.

© Жарницкий В.Я., Смирнов А.П., 2021

Original article

**FACTORS INFLUENCING THE INTENSITY OF WEAR AND TEAR OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF HYDRAULIC FACILITIES****ZHARNITSKIY VALERIY YAKOVLEVICH**, doctor of technical sciences, professor  
zharnitskiy@mail.ru

**SMIRNOV ALEXANDR PETROVICH**<sup>✉</sup>, candidate of technical sciences, associate professor

sxodnyasmirnov@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

*The peculiarity of special-purpose hydraulic engineering facilities significantly increases the importance of the wrong choice of materials associated with an underestimation of the existing loads, operating conditions and aging (wear) processes as a result of interaction with accumulation and storage of products. The intensity of the degradation process is connected with the action of force factors, physical fields, chemicals, living organisms, etc. Therefore, the most important factor determining the durability of an object is the rate of degradation of its structures. In addition to the analytical and numerical approaches, concrete degradation is also considered from the point of view of the stages of its decomposition. The weakest, from the point of view of corrosion, component of concrete is cement stone which determines the intensity of concrete destruction, depending on the mechanism of interaction with an aggressive environment. The constant impact of an aggressive environment on concrete components determines the development of corrosion processes in its very thickness. In the course of corrosion of the concrete material, various mechanisms for the transfer of aggressive substances appear which indicates that during the degradation of building structures made of concrete or reinforced concrete, a complex set of transformations occurs leading to a change in the properties of concrete in structures.*

**Keywords:** solid waste storage dams, average resource, average service life, estimated service life, durability, failures, degradation, durability assessment, dehydration of cement stone, diffusion coefficient, corrosion of concrete, sorption properties of concrete

**Format of citation:** Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P. Factors influencing the intensity of wear and tear of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic facilities // Prirodoobustroystvo. – 2021. – № 2. – S. 43-49. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-43-49.

**Введение.** Опыт эксплуатации гидротехнических объектов свидетельствует о том, что полностью исключить чрезвычайные ситуации на них невозможно, но свести их к минимуму с помощью мероприятий, прежде всего путём осуществления прогнозных решений, является вполне осуществимым. Применительно к эксплуатируемым плотинам повреждения обычно обусловлены процессами фильтрации, износа используемых материалов, нарушением требований и правил по эксплуатации и т.п. Особенно это относится к специальным типам плотин – плотинам накопителей твёрдых отходов, которые менее надёжны, чем объекты речных гидроузлов.

Указанная особенность сооружений специального назначения существенно усиливает важность неправильного выбора материалов, связанного с недоучётом действующих нагрузок, условий эксплуатации и процессов старения (износа) в результате взаимодействия с продуктами накопления и хранения. Это касается и конструкций из бетона и железобетона, в которых происходят разрушающие процессы: деформации, ухудшение механических свойств, дегидратация цементного камня, газовыделение,

что снижает их функциональные назначения. Следует отметить, что доля использования бетона и железобетона в строительных конструкциях доходит до 60...75% от общего объёма применяемых строительных материалов, где преобладающее место занимают гидротехнические объекты.

Для конструкций из бетона или железобетона водохозяйственных объектов показателем долговечности является срок службы, точнее расчетный срок службы, который принимается [1] как установленный нормативными документами период использования конструкций по назначению до капитального ремонта и реконструкции с соответствующим техническим обслуживанием и отсчитывается с момента постройки объекта (начала его эксплуатации) или возобновления его эксплуатации после капитального ремонта или реконструкции. Тогда согласно вышеприведенным определениям долговечность строительных конструкций – это их свойство сохранять выполнение заданной им функции с параметрами, установленными требованиями проектной документации в течение определенного периода (срока службы).

Таким образом, срок службы (расчетный срок службы, или ресурс) является основным показателем долговечности.

Срок службы, или расчетный срок службы (ресурс), обусловлен характеристиками использованных для создания объекта материалов, его конструкций, условиями эксплуатации и механизмами деградации материалов этих конструкций.

Под деградацией в данном случае следует понимать необратимые изменения, ухудшающие способность конструкций и объекта в целом выполнять требуемые функции, развивающиеся с течением времени. Интенсивность процесса деградации связана с действием силовых факторов, физических полей, химических веществ, живых организмов и пр. Поэтому важнейшим фактором, определяющим долговечность объекта, является *скорость деградации* его конструкций.

#### Материалы и методы исследований.

Для рассмотрения деградации обычно используют следующие подходы [2]:

- аналитический, когда применяются различные аналитические зависимости;
- численный, когда используются расчетные программы, в основе которых лежат подходы геохимического моделирования с комплексным учетом преобразований.

Деградация бетона может быть рассмотрена и с точки зрения стадий его разложения.

Для модели с тремя стадиями разложения бетона [3] рекомендуются постоянные значения  $K_d$  для каждой стадии, которые описываются следующим образом:

- 1 стадия, наступающая сразу после твердения цемента, когда поровая вода бетона имеет высокое значение  $pH$  (12,5), высокую соленость, высокие концентрации  $K^+$  и  $Na^+$ ;

- 2 стадия выхода  $Na^+$  и  $K^+$ , когда минеральный состав воды задается в основном растворением портландита,  $pH$  поровой воды 11...12,5;

- 3 стадия, когда цемент разложен до состояния песка, пористость и коэффициент фильтрации приравняются к свойствам песка.

При численном моделировании разложения бетона водой [4] выделяются четыре стадии.

- 1 стадия: в выходящей из бетона воде значения  $pH > 12,5$  вследствие выщелачивания в водную фазу ионов натрия и калия,

стадия завершается при фильтрации через  $1 \text{ м}^3$  бетона  $0,35 \text{ м}^3$  воды;

- 2 стадия: в выщелачиваемой из бетона воде значение  $pH \sim 12,5$ , суть процесса – растворение портландита, стадия завершается при фильтрации через  $1 \text{ м}^3$  бетона  $\sim 70 \text{ м}^3$  воды;

- 3 стадия: в выщелачиваемой из бетона воде значение  $pH$  находится в пределах 10,5...12,5 и определяется растворением  $C-Si-H$  фаз бетона в фильтрующейся воде, стадия завершается при прохождении сквозь  $1 \text{ м}^3$  бетона  $1800 \text{ м}^3$  воды;

- 4 стадия: в выщелачиваемой из бетона воде, значение  $pH$  в которой контролируется растворением кальцита,  $pH$  9,5...10, стадия завершается при фильтрации через  $1 \text{ м}^3$  бетона  $4400 \text{ м}^3$  воды.

Схематически стадии деградации бетонных и железобетонных конструкций в результате взаимодействия с радиоактивными продуктами накопления и хранения представлены на рисунке 1.

Таким образом, для моделирования изменений условий эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций рассматриваются следующие подходы:

- с постоянными значениями  $K_d$ ;
- с изменяющимися значениями  $K_d$  на основе геохимического моделирования;
- с табличными значениями  $K_d$  на основе табличного формализма для стадийно меняющихся состояний бетонных и железобетонных конструкций.

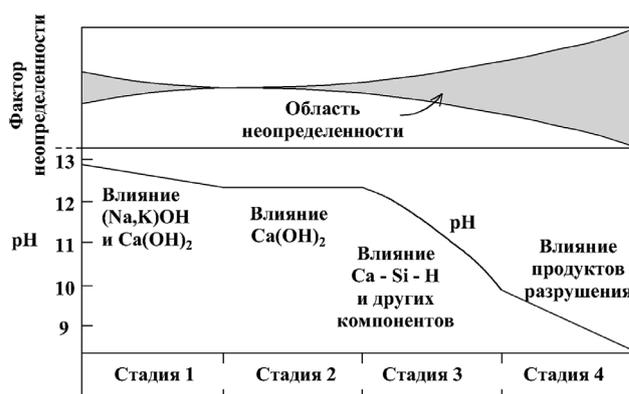


Рис. 1. Стадии деградации бетонных и железобетонных конструкций в результате взаимодействия с радиоактивными продуктами накопления и хранения [4]

Fig. 1. Stages of degradation of concrete and reinforced concrete structures as a result of interaction with radioactive products of accumulation and storage [4]

**Результаты исследований.** Модель деградации бетонных и железобетонных конструкций может быть усовершенствована путем учета в модели реальной скорости разрушения цемента, получаемой экспериментально, а также зависимости изменения со временем коэффициента диффузии и пористости цемента, получаемой расчетно-экспериментальным методом.

Для достаточно больших отрезков времени зависимость коэффициента диффузии от времени приводится в работе [6] (рис. 2), где для образцов цемента разной толщины проводились расчеты по определению изменения характеристик цементного камня в зависимости от времени с учетом степени водонасыщения. А зависимость пористости цемента от времени для тех же отрезков времени представлена на рисунке 3.

Таким образом:

- прочность бетона снижается по экспоненциальному закону при постоянных параметрах окружающей среды;
- долговечность бетона обратно пропорциональна концентрации агрессивного вещества среды;
- мощность дозы  $\sim 10^7$  мкв/ч не оказывает значительного влияния на долговечность цемента;
- совместное воздействие сульфатов и хлоридов в грунтовых водах приводит к незначительному увеличению скорости разрушения бетона (порядка 0,4 мм/год);

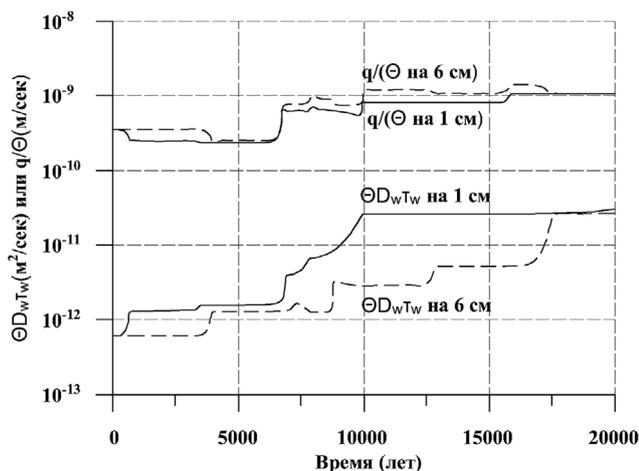


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии цемента от времени [5]

Fig. 1. Stages of degradation of concrete and reinforced concrete structures as a result of interaction with radioactive products of accumulation and storage [5]

- развитие микроорганизмов в бетоне увеличивает скорость его разрушения примерно до 13 мм/год, что приводит к весьма быстрому выходу из строя бетонных и железобетонных конструкций;

- при выборе марки материала для изготовления бетонных и железобетонных конструкций для взаимодействия с радиоактивными продуктами накопления и хранения следует отдавать предпочтение композиционному или сульфатостойкому цементу, а также предусматривать биоцидные добавки или окраску для предотвращения микробиологического разрушения.

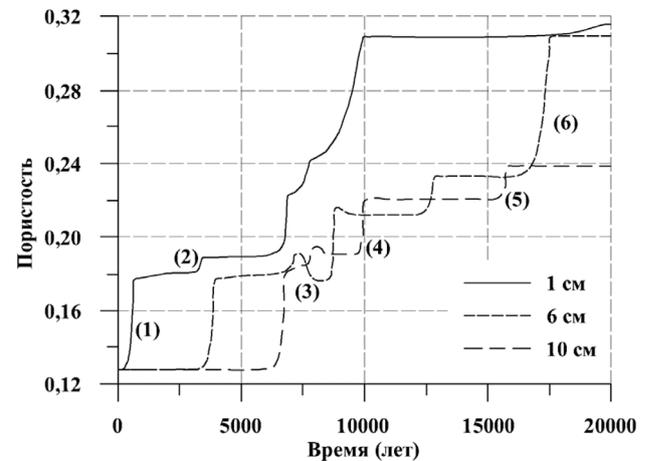


Рис. 3. Зависимость пористости цемента от времени [6]

Fig.3. The dependence of cement porosity on time [6]

**Оценка разрушения бетона при коррозии.** Постепенное разрушение бетона с поверхности в глубину происходит при коррозии I и II видов. При прогнозе долговечности конструкций из бетона или железобетона, которые эксплуатируются в условиях агрессивной среды, важное значение приобретает возможность оценки глубины разрушения материала.

Наиболее слабым с точки зрения коррозии компонентом бетона является цементный камень, который и определяет интенсивность разрушения бетона в зависимости от механизма взаимодействия с агрессивной средой. Постоянное воздействие агрессивной среды на компоненты бетона определяет развитие процессов коррозии и в самой его толще, когда граница коррозии смещается в глубь бетона (конструкции). В ходе коррозии материала бетона проявляются различные механизмы переноса агрессивных веществ.

В водонасыщенных наземных, подводных и ненапорных подземных конструкциях преобладает диффузионный перенос агрессивных веществ, который является наиболее распространенным при коррозии бетона. Объясняется это тем, что процесс переноса агрессивных сред начинает проявляться при влажностных и температурных «качелях», одностороннем напоре или капиллярном подтягивании (подсосе).

Коррозия материала бетона конструкций при взаимодействии с агрессивной средой в начальный период развивается быстро, со временем постепенно затухает. Изменение скорости разрушения поверхности бетонной конструкции связано с тем, что формирование продуктов разрушения бетона (коррозии) в зоне контакта с агрессивной средой начинает тормозить доступ к материалу конструкции. Скорость взаимодействия агрессивной среды с компонентами бетона или скорость их растворения определяют скорость коррозии материала в начальный момент. Далее на бетонной поверхности, взаимодействующей с агрессивной средой, формируются продукты коррозии, и скорость разрушения материала конструкции начинает зависеть от диффузии агрессивной среды к поверхности бетона. Этот этап называется диффузионно-кинетическим, так как скорость разрушения бетонной поверхности определяется диффузией взаимодействующих веществ и скоростью самого химического процесса. Чем больше глубина разрушения бетона и слой продуктов коррозии, тем более значимой является диффузия агрессивных веществ к поверхности коррозии. Этот этап соответствует этапу внутренней диффузии, и он характеризуется линейной связью глубины разрушения от времени ( $t$ ) воздействия агрессивной среды на бетон (рис. 4).

Продолжительность процесса разрушения бетона в диффузионно-кинетическом периоде составляет до двух месяцев и зависит от состава и класса бетона конструкции, от состава самой агрессивной среды, фазового состава, структуры и толщины сформированного слоя продуктов коррозии. Гель и кристаллы солей кальция или кристаллы гидросульфалюмината кальция и гипса или сам по себе одно- и многокомпонентный гель определяют состав продуктов коррозии. Структура кристаллической составляющей и увеличение плотности слоя продуктов коррозии определяют повышение

их диффузионного сопротивления. Продукты коррозии гелевого строения имеют наименьшее сопротивление [6, 7].

Толщина формируемого слоя продуктов коррозии определяется их способностью сохраняться на поверхности и в порах бетона, а также условиями эксплуатации и соблюдением регламента по эксплуатации таких гидротехнических объектов. В водной среде, омывающей конструкцию, толщина продуктов коррозии остаётся практически постоянной. Объясняется это тем, что часть продуктов коррозии смывается и уносится водой. Механизмы переноса веществ, диффузионный и диффузионно-кинетический, при этом определяют процесс коррозии бетона [6, 7].

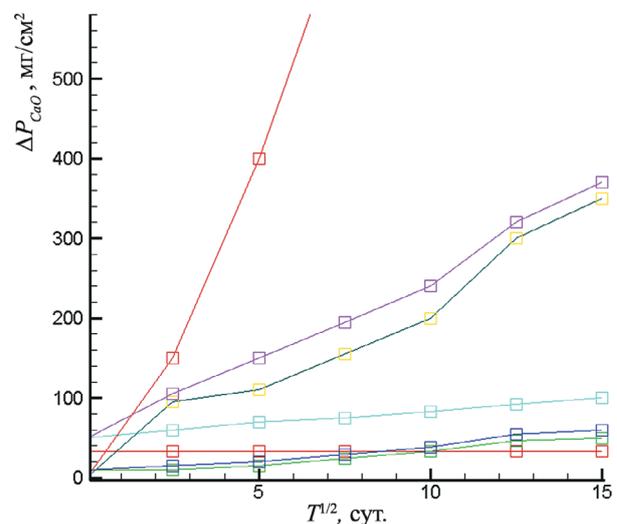


Рис. 4. Зависимость процессов коррозии цементного камня от времени воздействия различных агрессивных средств на бетон: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; HCl; HF; дистиллированная вода и др.

Fig. 4. Dependence of cement stone corrosion processes on the impact timing of various aggressive products on concrete:

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; HCl; HF; distilled water, etc.

Продукты разрушения бетонных конструкций, работающих в контакте с грунтами, никуда не перемещаются, а остаются на месте своего формирования. В результате толщина слоя продуктов коррозии увеличивается, происходит повышение их плотности. При этом скорость реакции и глубина разрушения бетонной конструкции являются следствием диффузии взаимодействующих веществ и степени их агрессивности.

При воздействии агрессивной среды в бетоне происходит послойное разрушение с образованием следующих зон: зона непосредственной коррозии и бетона, в которой не произошли фазовые превращения, и зона продуктов коррозии. Со временем происходит смещение этих областей в толще бетонной конструкции, но четкая граница между качественным бетоном и зонами разрушения сохраняется даже при значительной степени разрушения материала.

На сегодняшний день отсутствуют методы расчетного обоснования глубины разрушения бетона при коррозии по имеющимся исходным данным о его составе и условиях агрессивного воздействия. Имеющиеся методы прогнозной оценки глубины коррозии бетона опираются на результаты предварительно выполненных экспериментов, на основе которых по существующим закономерностям развития процесса коррозии при значительных сроках воздействия, где определяющим является диффузионный перенос реагирующих веществ, устанавливается глубина коррозии бетона через определенный интервал времени. Глубина коррозии бетонной конструкции на конкретный период эксплуатации устанавливается по формуле [8]:

$$h = [(P_{CaO}) / \Pi \cdot P'_{CaO}] \cdot 10^{-5}, \quad (1)$$

где  $P_{CaO}$  – количество взаимодействующего с агрессивной средой цементного камня в перерасчете на  $CaO$ , отнесенное к единице реагирующей поверхности образцов, г/см<sup>2</sup>;  $P'_{CaO}$  – содержание  $CaO$  в цементе, %;  $\Pi$  – содержание цемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>.

Для установления связи  $P_{CaO} = f(t^{1/3})$  предварительно выполняются эксперименты по определению  $P_{CaO}$ . Испытания проводятся на материалах и в условиях, для которых выполняется прогнозная оценка.

Глубина разрушения бетонных конструкций, выполненных из стойких к агрессивному воздействию заполнителей, заметно уменьшается в результате снижения объема цементного камня и увеличения плотности бетона конструкций вследствие формирования и заполнения продуктами разрушения пор бетона, а также их отложения на поверхности заполнителей. С течением времени происходит уплотнение заполненного порового пространства. Всё это усложняет доступ к реакционной поверхности (к материалу конструкции) агрессивной среды. Для определения глубины

разрушения бетона в диффузионный период используются выражение:

$$h_t = (k \cdot (t^{1/2}) - \alpha) / (\Pi \cdot P'_{CaO}), \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент, представляющий собой тангенс угла наклона кривой коррозии в диффузионный период к оси абсцисс [7];  $t$  – период (время), на который рассчитывается глубина коррозии бетона, сут.;  $\alpha$  – поправочный коэффициент, показывающий, что разрушение бетона происходит по диффузионно-кинетическому механизму.

Экспериментальный коэффициент  $k$  [7] определяется как

$$k = dy / dx = (P_{1CaO} - P_{2CaO}) / \left[ \left( t_1^{1/2} \right) - \left( t_2^{1/2} \right) \right], \quad (3)$$

где  $P_{iCaO}$  и  $(t_i^{1/2})$  – координаты двух точек на опытной кривой коррозии, построенной в координатах  $P_{CaO} = f(t^{1/2})$ .

Коэффициент  $\alpha$  [7] представляет собой

$$\alpha = k \cdot \left( t_1^{1/2} \right) - P_{1CaO}. \quad (4)$$

Предварительная оценка глубины коррозии, если имеет место диффузионно-кинетический механизм переноса веществ, выполняется по формуле [7]:

$$h_1 = (V_{CaO} \cdot t) / (\Pi \cdot P'_{CaO}), \quad (5)$$

где  $V_{CaO}$  – скорость коррозии при диффузионно-кинетическом механизме переноса веществ устанавливается экспериментально, г/(см<sup>2</sup> сут.).

Срок службы конструкций  $\tau$  до разрушения слоя бетона допустимой глубины устанавливается из выражения:

$$\tau = \left( (h_{кр} \cdot Z \cdot \beta / k)^2 / 365 \right), \quad (6)$$

где  $Z$  – количество цемента в 1 см<sup>3</sup> исследуемых образцов, рассчитываемое по фактическому составу образцов, г/см<sup>3</sup>;  $\beta$  – содержание  $CaO$  в цементе по результатам химического анализа цемента, %;  $h_{кр}$  – допустимая глубина.

Таким образом, если принимать критерии разрушения строительных конструкций, становится возможным для них подобрать марку бетона и установить геометрические параметры для обеспечения требуемой долговечности в зависимости от класса сооружения.

### Выводы

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что при деградации строительных конструкций из бетона или железобетона происходит сложнейший комплекс преобразований, приводящих к изменению проницаемости и сорбционных свойств бетона, и это снижает эксплуатационный ресурс этих конструкций.

**Библиографический список**

1. НП-055-14. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. URL: <https://НП-055-14/НП-055-14> (secnrs.ru).

2. Разработка расчетных методов оценки миграции радионуклидов за пределы ИББ с учетом их эволюции / К.А. Болдырев и др. Депонированная рукопись. № ИБРАЕ-2017-11. – М.: ИБРАЭРАН, 2017. – 23 с.

3. Recommended values for the distribution coefficient (kd) to be used in dose assessments for decommissioning the Zion nuclear power plant. Terry Sullivan. – 2014. – Revision 1. – September 24.

4. Jacques D., Wang L., Martens E., Mallants D. Modelling chemical degradation of concrete during leaching with rain and soil water types. Cem. Concr. Res. 40, 1306-1313 (2010).

5. Jacques D., Perko J., Seetharam S., Mallants D., Govaerts J. Modelling long-term evolution of cementitious materials used in waste disposal. Behaviours of Cementitious Materials in Long Term Storage and Disposal (pp. 26). IAEA-TECDOC-1701. IAEA. – Vienna, 2013.

6. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев и др. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

7. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 500 с.

8. Баринов А.С., Вардаков А.П., Горбунова О.А. Модифицирующие комплексные добавки в технологиях цементирования радиоактивных отходов // Медицина труда и промышленная экология. – 2006. – № 2. – С. 29-34.

**Критерии авторства**

Жарницкий В.Я., Смирнов А.П. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Жарницкий В.Я., Смирнов А.П. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 03.03.2021 г.

Одобрена после рецензирования 22.03.2021 г.

Принята к публикации 05.04.2021 г.

**References**

1. NP-055-14 «Zahoronenie radioaktivnyh othodov. Printsipy, kriterii i osnovnye trebovaniya bezopasnosti». / НП-055-14/НП-055-14 (secnrs.ru)

2. Development of computational methods for assessing the migration of radionuclides outside the IBB, taking into account their evolution / K.A. Boldyrev et al. Deposited manuscript. No. IBRAE-2017-11. – Moscow: IBRAERAN, 2017. – 23 p

3. Recommended values for the distribution coefficient (kd) to be used in dose assessments for decommissioning the Zion nuclear power plant. Terry Sullivan September 24, 2014 Revision 1.

4. Jacques D., Wang L., Martens E., Mallants D. Modelling chemical degradation of concrete during leaching with rain and soil water types. Cement and Concrete Research 40 (2010) 1306-1313.

5. Jacques D., Perko J., Seetharam S., Mallants D., Govaerts J. Modelling long-term evolution of cementitious materials used in waste disposal. Behaviours of Cementitious Materials in Long Term Storage and Disposal (pp. 26). IAEA-TECDOC-1701. IAEA. – Vienna, 2013.

6. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity / Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N. i dr. – M.: Strojizdat, 1980. – 500 s.

7. Bazhenov Yu.M. Tehnologiya betona: uchebnik. – M.: Izdatelstvo ASV, 2002-500 s.

8. Barinov A.S., Vardakov A.P., Gorbunova O.A. Modifitsiruyushchie kompleksnye dobavki v tehnologiyah tsementirovaniya radioaktivnyh othodov // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. – 2006. – № 2. – S. 29-34.

**Criteria of authorship**

Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 05.04.2021