

2. Gorodkov A.V. Planirovochnye principy i landshaftno-sredozashhitnye aspekty sistem ozelenennykh prostranstv gorodov. – Orel: Izd-vo Orel GAU, 2000. – S. 109-118.

3. Kovalenko P.P., Orlova L.N. Gorodskaja klimatologija. – M.: Strojizdat, 1993. – 144 s.

4. Mordashev N.M. Sovershenstvovanie jesteticheskogo oblika promyshlennykh predpriyatij // Prom. i grazhd. str.-vo. – 1998. – № 11-12. – S.39.

5. Morozova E.B. Arhitekturno-planirovochnaja struktura promyshlennykh predpriyatij s uchetom jekologicheskikh trebovanij regiona (na primere predpriyatij mashinostroenija v gorodah BSSR): dis. ... kand. arh. – M., 1987. – 214 s.

6. Pozdnjakov A.L. Osnovnye faktory, vlijajushhie na jekologicheskoe sostojanie okruzhajushhej gorodskoj sredy i kriterii ih ocenki // Nauchno-prakticheskie i teoreticheskie problemy geotekhniki – SPb.: GASU, 2015. – S. 86-91.

7. Rekomendacii po sostavleniju shem general'nykh planov promyshlennykh uzlov v uslovijah sushhestvujushhej zastrojki promyshlennykh rajonov gorodov. CNIIPromzdaniy. – M., 1989. – 104 s.

8. Rykova E.Je. Jevoljucija sredstv kompozicii v arhitekture (na primere promyshlennogo zodchestva): avtoref. dis. ...kand. arh. – M., 1995. – 25 s.

9. Shabiev S.G. Arhitekturno-jekologicheskoe formirovanie predpriyatij metallurgii i mashinostroenija Urala: avtoref. dis. ...kand. arh. – M., 1993. – 36 s.

10. Jakovlev A.A. Osnovy formirovanija arhitekturno-prostranstvennoj sredy promyshlennykh predpriyatij v istoricheski slozhivshejsja zastrojke (na primere istoricheskikh gorodov Povolzh'ja): monografiya. – N. Novgorod :Izd-vo «KiTizdat», 2000. – 316 s.

11. Sheppard W., Plant Floore Thrive on preventive maintenans // Food Engenering. –1973. – №6. – P. 17-19.

УДК 624.012.35:620.193.4

Е.Г. Пахомова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: egrakhomova@yandex.ru)

В.Г. Семерин, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: fsa_dekanat@mail.ru)

Е.И. Гутенева, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: parfenova-e@mail.ru)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Работа посвящена исследованиям работоспособности железобетонных конструкций инженерных сооружений, работающих в условиях воздействия агрессивных сред, имеющих повреждения бетона и рабочей арматуры. Большую часть конструктивных систем инженерных сооружений составляют железобетонные конструкции с длительными сроками эксплуатации. Недостаточное финансирование ремонтов сооружений привело к тому, что значительная их часть имеет повреждения бетона, а их физический износ превышает 30%. Эксплуатация железобетонных конструкций инженерных сооружений в условиях агрессивных сред приводит к увеличению объемов работ по восстановлению. Синергетические воздействия сред приводят к значительным изменениям деформативно-прочностных свойств бетона пораженной зоны железобетонных конструкций инженерных сооружений. Основной целью исследований ставилось определение: видов агрессивных сред; их влияния на структуру и прочностные характеристики бетона и арматуры; механизма проникновения агрессивных сред в тело бетонного камня. Изменение свойств материала во времени носит необратимый характер и зависит от условий

деформирования и взаимодействия со средой. Кроме того, по мере проникания агрессивной среды в тело конструкции снижаются защитные свойства бетона по отношению к арматуре, которая начинает корродировать. Исследование коррозии арматуры железобетонных конструкций инженерных сооружений и диагностирование коррозионных повреждений осложняются изоляцией арматуры бетоном. Эффективность защитных свойств бетона зависит от плотности его структуры, толщины защитного слоя, химического состава цементного камня. В результате коррозии уменьшается площадь поперечного сечения арматуры и нарушается ее сцепление с бетоном. Все это сказывается на работоспособности железобетонных конструкций инженерных сооружений.

Ключевые слова: работоспособность, железобетонные конструкции, синергетическое воздействие, коррозионные повреждения, инженерные сооружения.

При обеспечении работоспособности железобетонных конструкций инженерных сооружений должны обеспечиваться как технологические, так и конструктивные требования. При воздействии агрессивных сред необходима защита строительных конструкций от коррозии это одна из главных и больших проблем в решении вопроса обеспечения долговечности зданий и сооружений [1].

Одной из главных причин возникновения коррозии железобетонных конструкций инженерных сооружений является воздействие агрессивных сред техногенного и природного характера. Это приводит к активным деструктивным процессам. Хорошо известно и то, что изменение свойств материала во времени зависит от взаимодействия со средой и носит необратимый характер. Особенно наглядно разрушительные процессы наблюдаются в зонах переменного уровня воды, активного химического и физического воздействия среды. Например, в сооружениях промышленной гидротехники (гиперболические башенные градирни, вентиляторные градирни, аэротэнки, фильтры-отстойники, камеры доков, гравитационные набережные). За эксплуатационный период 6-8 лет глубина коррозии бетона достигает 8-10 сантиметров, а за период 25-30 лет может достигать 1-1,5 метра. Кроме того, по мере проникания агрессивной среды в тело конструкции снижаются защитные свой-

ства бетона по отношению к арматуре, которая начинает корродировать. Все это сказывается на несущей способности железобетонных конструкций [2].

Так при рассмотрении коррозии железобетона можно определить синергетические воздействия как совместное действие внешней среды (повышенная влажность, температура и т.п.), агрессивных сред (различные жидкости, газы, твердые агрессивные образования) с учетом напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента [3, с. 125-127].

Синергетические воздействия сред приводят к существенным изменениям деформативно-прочностных свойств бетона пораженной зоны. Изменение свойств материала во времени носит необратимый характер и зависит от условий деформирования и взаимодействия со средой. Кроме того, по мере проникания агрессивной среды в тело конструкции снижаются защитные свойства бетона по отношению к арматуре, которая начинает корродировать. В результате коррозии уменьшается площадь поперечного сечения арматуры и нарушается ее сцепление с бетоном. Все это сказывается на несущей способности железобетонных конструкций [4, с. 29-32].

Повреждения бетона отмечаются при действии на него водных растворов кислот или кислых газов, растворов солей и даже щелочей, некоторых органических соединений. Степень агрессивного воз-

действия зависит не только от состава агрессивной среды, но и от условий контакта, скорости движения и напора жидких сред, плотности прилегающего грунта при действии грунтовых вод, температуры среды, силовых нагрузок, напряженного состояния материала конструкций и других факторов.

Практически все воздействия, происходящие с участием агрессивных твердых веществ и газов, можно отнести к синергетическим, поскольку для протекания химической реакции в нормальных условиях необходимо присутствие воды [5].

Все кислые газы действуют на бетон конструкций совместно с CO_2 . В большинстве случаев опережающим процессом является карбонизация бетона, которая начинается с момента изготовления конструкции, тогда как специфические кислые газы начинают действовать, как правило, лишь после начала эксплуатации здания. Воздействие газов на бетон вызывает его нейтрализацию, а образующиеся соли проникают вглубь со скоростью, зависящей от их растворимости, проницаемости и влажности бетона. Характер основных деструктивных процессов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Типичные случаи взаимодействия конструкции со средой

Среда	Условия воздействия среды	Преобладающие процессы в бетоне
Воздушно-влажная	Безнапорное	Нейтрализация
	Напорное	То же, ускоренная
Воздушно-влажная, с присутствием растворов солей, кислот и т. д. и с непосредственным периодическим увлажнением	Безнапорное	Увеличение количества внесенных агрессивных компонентов или продуктов из взаимодействия с цементным камнем, нейтрализация, диффузия агрессивных ионов
	Напорное	Те же процессы, ускоренные +выщелачивание
Водная с присутствием растворов солей, кислот и т. д.	Безнапорное	Диффузия агрессивных ионов
	Напорное	То же + выщелачивание

Для оценки коррозионного повреждения бетона в железобетонных конструкциях инженерных сооружений можно использовать следующие показатели: глубина поражения бетона и ресурс эксплуатации [6, с. 74-78.].

Очевидно, что конечной целью построения математической модели коррозии $L=f(t)$ является получение простой формулы, по которой удобно выполнять

инженерные расчеты. Однако практически все исследователи при выводе зависимости $L=f(t)$ с целью упрощения исходят из взаимодействия только двух веществ (табл. 2).

В результате исследования методического подхода к определению сроков службы бетона и подготовке предложений о количественной оценке кинетики коррозионных процессов, возникающих

на контакте жидких агрессивных сред с бетоном, которые основывались на анализе природы коррозионных процессов, в работах отечественных авторов получены следующие выводы [2]:

– установлено, что интенсивность коррозионных процессов определяется интенсивностью проникания агрессивных компонентов внешней среды в поровую структуру бетона;

– движение агрессивной среды от внешней поверхности вглубь бетона осуществляется под действием гидроста-

тического давления, молекулярной диффузии и капиллярности; давление внешней среды на открытую поверхность бетона ускоряет этот процесс;

– такая классификация действующих сил, побуждающих движение агрессивной среды в бетоне, позволяет для стационарных условий осуществлять количественные расчеты потока агрессивного вещества через поверхность бетона и дать оценку его влияния на состояние бетона во времени для несложных граничных условий.

Таблица 2

Характеристика синергетического взаимодействия двух веществ

Примеры взаимодействия бетона с диффундирующей внешней средой	Описание процесса	Дифференциальные уравнения, описывающие процесс [2]
Контакт цементного камня с растворами солей, кислот и т.д.	Наличие химического взаимодействия бетона с внешней средой, процесс контролируется диффузией и химической реакцией	$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_A}{\partial t} &= D_A \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + RC_i \\ \frac{\partial C_B}{\partial t} &= D_B \cdot \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{K_B S_B}{\Pi_B} R(C_i) \end{aligned} \right\} (1)$
Контакт цементного камня с хлоридами	Отсутствие химического взаимодействия бетона с внешней средой, процесс контролируется диффузией	$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} (2)$

Коррозия бетона в изделии или конструкции вызывается и деятельностью организмов. Биологическая коррозия в наибольшей степени встречается в тех сооружениях, где с поверхностью железобетона соприкасаются органические вещества. Коррозионное разрушение сопровождается выщелачиванием из бетона кальция и магния в виде сульфатов [7].

Климатические воздействия на бетон, к которым относят температуру, влажность воздуха, число переходов че-

рез 0°C, разрушают поверхностную структуру его слоев, приводят к образованию замкнутых микротрещин, которые, соединяясь друг с другом, образуют сквозную пористую систему, облегчая доступ последующим воздействиям ионов хлора или углекислого газа [8, с. 43-44.].

Общая теория процессов, протекающих при промерзании водонасыщенного бетона, находится пока в стадии своего развития. Особенности процесса разрушения при промерзании водонасыщенно-

го бетона нашли отражение в работах В.М. Москвина, В.Б. Гусева, Н.К. Розенталя и других авторов. Движение фронта промерзания и увеличение объема при фазовом переходе в лед вызывает перемещение воды. При этом резко возрастают поровые давления, что снижает температуру кристаллизации. При наличии солевых растворов в жидкой фазе бетона на нее влияет и концентрация растворов солей [9].

Практика обследований показывает, что одной из основных причин снижения несущей способности железобетонных конструкций является влияние агрессивных воздействий окружающей среды. Наиболее неблагоприятным результатом такого воздействия является химическая

коррозия железобетона. В промышленно развитых странах ущерб от коррозии оценивается в 3...5% от валового национального дохода, при этом 13...19% приходится на долю строительных конструкций. В настоящее время влияние коррозии на несущую способность железобетонных конструкций при обследовании оценивается ориентировочно [10, с. 28-29].

Степень агрессивности среды и глубина разрушения поверхностного слоя бетона, влияющие на потерю несущей способности железобетонных конструкций, представлены в таблице 3.

Степень агрессивности среды, влияющая на глубину поражения арматуры, представлена в таблице 4.

Таблица 3

Потеря несущей способности при эксплуатации конструкций

Степень агрессивности среды	Глубина разрушения поверхностного слоя, мм/год	Среднегодовая потеря несущей способности при эксплуатации конструкций, %	
		подземных	несущих и ограждающих
Слабая	До 0,4	3	5
Средняя	0,4...1,2	5	10
Сильная	Более 1,2	8	15

Таблица 4

Степень агрессивности среды

Степень агрессивности среды	Коррозионные повреждения, мм/год	Баллы по ГОСТ 13819-68	Снижение прочности в зоне коррозии, %
Неагрессивная	0,1	1...3	0
Слабая	0,01-0,05	4,5	До 5
Средняя	0,05-0,5	6	До 10
Сильная	>0,5	>7	>10

Оценку ресурса эксплуатирующихся конструкций предложено выполнять по формуле [1]

$$t_{пр} = t_{об} \delta^2 / (m_1 x_{об})^2 - t_{об}, \quad (3)$$

где $t_{об}$; $t_{пр}$ – соответственно срок эксплуатации конструкции к моменту обследования и прогнозируемый срок эксплуатации (ресурс); $x_{об}$ – глубина карбонизации бетона к моменту обследования.

Стойкость бетонов повышают путем увеличения количества цемента, качественным уплотнением, однако это не предотвращает его повреждение и разрушение в агрессивных средах. Разрушение защитного слоя бетона вызывают кислые газы, хлор, углекислый газ, который активизирует процесс карбонизации.

Чтобы сделать химически активными присутствующие в цементе агрессивные соли и газы достаточно собственной влажности бетона. В результате инициируются процессы выщелачивания гидроксида кальция вследствие его гидролиза, образование солей из извести, цемента, кислот или кислых растворов, что сопровождается разрушением бетона.

Список литературы

1. Пахомова Е.Г. Прочность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2006.
2. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. Пахомова Е.Г., Горбунова И.Н. Работоспособность железобетонных конструкций при синергетических воздействиях агрессивных сред // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2-2. – С. 125-127.
4. Пахомова Е.Г., Меркулов Д.С., Гордеев А.В. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионном повреждении бетона и арматуры // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2008. – № 3-19. – С. 29-32.
5. Пахомова Е.Г. Работоспособность железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: монография. – Курск, 2010.
6. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений / С.И. Меркулов, Е.Г. Пахомова, А.В. Гордеев, А.С. Маяков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2009. – № 4 (29). – С. 74-78.
7. Биоповреждения в строительстве / под ред. Ф.М. Иванова, С.Н. Горшина. – М.: Стройиздат, 1984.
8. Пахомова Е.Г. Расчет несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 5. – С. 43-44.
9. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, водонапорных стен): монография. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 424 с.
10. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях / Е.Г. Пахомова, В.М. Кретьева, А.В. Гордеев, А.С. Маяков // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 8. – С. 28-29.

Получено 28.10.16

E. G. Pakhomova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: egpakhomova@yandex.ru)

V. G. Semerinov, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: fsa_dekanat@mail.ru)

E. I. Guteneva, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: parfenova-e@mail.ru)

SOME FACTORS AFFECTING THE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE ENGINEERING STRUCTURES OPERATING IN A CORROSIVE ENVIRONMENT

The paper presents a study of the performance of reinforced concrete engineering structures that operate in corrosive media and have some damages in concrete and main reinforcement. The major structural part of an engineering facility is formed by reinforced concrete structures with long service life. Insufficient financial support of maintenance activities has resulted in multiple defects that developed in concrete during operation time with wear rate over 30%. The operation of reinforced concrete structures in engineering facilities in corrosive media results in an increase in repair works. Synergetic impact of different media causes notable changes in stress-related properties and mechanical characteristics of concrete in the affected area of reinforced concrete structures of an engineering facility. The main objectives of the presented research was to identify the types of corrosive media, and to determine their influence upon the structure and strength characteristics of concrete and reinforcement, to investigate the mechanisms of a corrosive medium penetration into cast stone. Time-related changes in the properties of a material have irreversible nature and depend on straining conditions and environment interaction pattern. Moreover, as a corrosive medium is penetrating into the body of a structure the protective ability of concrete deteriorates and reinforcement begins to corrode. An examination of reinforcement corrosion in a reinforced concrete engineering structure and diagnosis of corrosion damage can often be complicated because the reinforcement is insulated by concrete. Protective performance of concrete depends on its density, protective layer thickness and chemical composition of the matrix. Corrosion decreases cross-section area of reinforcement and affects its cohesion with concrete., which has a negative effect on the performance of a reinforced concrete structure of an engineering facility.

Key words: performance, reinforced concrete structure, synergetic effect, corrosive damage, engineering structure

Reference

1. Pahomova E.G. Prochnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukcij pri korrozionnykh povrezhdenijah: dis. ... kand. tehn. nauk. – Kursk, 2006.

2. Korrozija betona i zhelezobetona. Metody ih zashhity / V.M. Moskvina, F.M. Ivanov, S.N. Alekseev, E.A. Guzeev. – M.: Strojizdat, 1980. – 536 s.

3. Pahomova E.G., Gorbunova I.N. Rabotosposobnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri sinergeticheskikh vozdeystvijah agressivnykh sred // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2012. – № 2-2. – S. 125-127.

4. Pahomova E.G., Merkulov D.S., Gordeev A.V. Prochnost' i deformativnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukcij pri korrozionnom povrezhdenii betona i armatury // Izvestija Orlovskogo gosudar-

stvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i transport. – 2008. – № 3-19. – S. 29-32.

5. Pahomova E.G. Rabotosposobnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri korrozionnykh povrezhdenijah: monografija. – Kursk, 2010.

6. Issledovanie rabotosposobnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukcij s uchetom korrozionnykh povrezhdenij / S.I. Merkulov, E.G. Pahomova, A.V. Gordeev, A.S. Majakov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2009. – № 4 (29). – S. 74-78.

7. Biopovrezhdenija v stroitel'stve / pod red. F.M. Ivanova, S.N. Gorshina. – M.: Strojizdat, 1984.

8. Pahomova E.G. Raschet nesushhej sposobnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukcij pri korrozionnykh povrezhdenijah

// Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2009. – № 5. – S 43-44.

9. Puhonto L.M. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstrukcij inzhenernykh sooruzhenij: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, vodonapornykh sten): monografija. – M.: Izd-vo ASV, 2004. – 424 s.

10. K metodike ocenki rabotosposobnosti zhelezobetonnykh konstrukcij pri naruzhenii scepnenija armatury s betonom pri korrozionnykh povrezhdenijah / E.G. Pahomova, V.M. Kretova, A.V. Gordeev, A.S. Majakov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2011. – № 8. – S. 28-29.

УДК 66:628.5

В.С. Ежов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: vl-ezhov@yandex.ru)

А.С. Сидоров, инженер, ООО «ЭКАС» (e-mail: n-ord@mail.ru)

Н.Е. Семичева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: nsemicheva@yandex.ru)

Э.В. Умеренкова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: elinaelya@gmail.com)

С.В. Павлов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: sv.sx@mail.ru)

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ ГАЗОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Одной из основных проблем жилищно-коммунальных служб населенных пунктов является утилизация твердых бытовых отходов. Поэтому разработка способов сбора, обезвреживания и утилизации данного типа отходов, являющихся многокомпонентной смесью различного фракционного состава, является актуальной задачей.

В настоящее время наблюдается тенденция по увеличению скорости загрязнения природной среды твердыми промышленно-бытовыми отходами. Помимо угрозы здоровью людей загрязнение воздуха наносит огромный вред воздушной атмосфере, окружающей среде.

С целью управления качеством воздушной атмосферы при утилизации биологических отходов и снижении загрязнений окружающей атмосферы, предлагается укомплектовывать крематоры и инсenerаторы инновационной конструкцией санитарной приставки. Предложенный способ повышения экологических характеристик установок утилизации биологических отходов позволяет повысить эффективность очистки дымовых газов от вредных компонентов и управлять качеством воздушной атмосферы при утилизации биологических отходов. Реализация данного способа очистки дымовых газов от вредных газообразных примесей повышает эффективность технологической схемы очистки и КПД установки.

Для оценки эффективности работы санитарной приставки на кафедре теплогазоводоснабжения Юго-Западного государственного университета была разработана экспериментальная установка и проведены исследования. Результаты эксперимента показывают, что использование предлагаемой конструкции санитарной приставки в схеме утилизации твердых биологических отходов позволяет очистить сбросные (дымовые) газы от вредных примесей до 70 %.

Таким образом, предложенное техническое решение снижает количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, что улучшает его экологические характеристики в районе жилых массивов, повышая тем самым санитарно-гигиенический комфорт проживающих в них людей.

Ключевые слова: техническое решение, бытовые отходы, качество воздушной атмосферы, очистка сбросных газов.

Наибольшую проблему для жилищно-коммунальных служб составляют твердые

бытовые отходы, образующиеся повсюду, а также разработка способов их сбора,