

Т.В. ЛАТЫПОВА, канд. техн. наук (stexpert@mail.ru),  
Л.Н. ЛОМАКИНА, канд. техн. наук (lomakinaln@mail.ru), Р.Р. АХМАДУЛЛИН, канд. техн. наук,  
Б.Р. АНВАРОВ, инженер (anvarov@mail.ru)

Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

## Об эксплуатационной надежности железобетона в системах водоснабжения и водоотведения селитебных территорий

Системы водоснабжения и водоотведения относятся к категории объектов повышенной экологической опасности, поскольку аварии на них приводят к негативным последствиям разного масштаба – от малых и средних до категории техногенных катастроф, последствия которых сказываются в течение многих десятилетий. Чаще всего аварии происходят в коллекторах и камерах гашения напора, далее следуют канализационные насосные станции и резервуары городских очистных сооружений канализации. Резервуары водоснабжения также относятся к категории объектов повышенной экологической опасности, поскольку аварии на них приводят к нарушению бесперебойного снабжения города питьевой водой. В статье приводятся основные причины ускоренного коррозионного износа железобетонных конструкций в системах водоснабжения и водоотведения, а также мероприятия по повышению их эксплуатационной надежности.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, система водоотведения, железобетон, коррозия, долговечность, эксплуатационная надежность.

T.V. LATYPOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (stexpert@mail.ru), L.N. LOMAKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (lomakinaln@mail.ru), R.R. AKHMADULLIN, Candidate of Sciences (Engineering), B.R. ANVAROV, Engineer (anvarov@mail.ru), V.M. LATYPOV, Doctor of Sciences (Engineering) Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Republic of Bashkortostan, Ufa, 450062, Russian Federation)

### About Operational Reliability of Reinforced Concrete in Water Supply and Water Disposal Systems of Residential Areas

Water supply and water disposal systems are objects of increased ecological danger because their breakdowns lead to the negative consequences of various scales: from minor accidents to average, to anthropogenic catastrophes, consequences of which are felt for many decades. More often the accidents take place in collectors, stilling chambers, then at sewage pumping stations and reservoirs of urban sewage treatment works. Reservoirs of water supply are also objects of increased ecological danger because accidents at them lead to the interruption of continuous supply of the city with potable water. The article presents main reasons for accelerated wear-corrosion of reinforced concrete structures in water supply and water disposal systems, as well as measures for improving their operational reliability.

**Keywords:** water supply system, water disposal system, reinforced concrete, corrosion, durability, operational reliability.

Системы водоснабжения и водоотведения относятся к категории объектов повышенной экологической опасности, поскольку аварии на них приводят к негативным последствиям разного масштаба – от малых и средних до категории техногенных катастроф, последствия которых сказываются в течение многих десятилетий. Практически во всех городах-миллионниках России в течение последних десяти лет происходили и происходят аварии на сетях водоотведения. Несколько ниже аварийность в системах водоснабжения. В связи с этим неотложность принятия мер по повышению эксплуатационной надежности этих объектов становится все более актуальной.

Системы водоснабжения и водоотведения включают большое количество точечных объектов, разветвленную сеть трубопроводов малого и среднего диаметра, а также магистральные коллекторы большого диаметра значительной протяженности. На рис. 1 приведены наиболее уязвимые зоны и участки этих систем.

Емкостные полузаглубленные и заглубленные железобетонные сооружения водоснабжения представлены резервуарами. В связи с длительной эксплуатацией существующий парк этих железобетонных емкостных сооружений нуждается не только в капитальном ремонте, но и в реконструкции. В период эксплуатации железобетонные конструкции резервуаров подвергаются воздействию кислорода и углекислого газа, а в кратковременные периоды профилактической очистки (как правило, один раз в год, перед паводком – в течение 1–3 дней) поверхность конструкций подвергается воздействию saniрующих растворов, содержащих хлор, гипохлорит натрия и других химических веществ (рис. 2).

В результате проведенного авторами обследования ряда эксплуатирующихся резервуаров установлено, что скорость коррозии железобетонных конструкций в под-

водной части резервуаров «чистой» воды сопоставима или превышает скорость коррозии в надводной части резервуаров. Эти различия в фазовом составе продуктов коррозии стали предопределяют различие в возможности визуального контроля за началом процесса коррозии арматуры в железобетоне. Так, если в надводных конструкциях образующаяся даже в небольшом количестве красная ржавчина способна создавать на границе арматура–бетон значительное давление (вследствие того, что красная ржавчина значительно увеличивается в объеме), приводящее к появлению характерных трещин в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней, то черная ржавчина, образующаяся в подводных конструкциях, в объеме практически не увеличивается. В связи с этим подводные конструкции внешне выглядят вполне благополучно даже при глубокой коррозии арматуры (до 1–2 мм). Физико-химические исследования состава продуктов коррозии стали в подводных и надводных конструкциях показали их существенное отличие: если в надводной части преобладает оксигидроксид железа  $FeO(OH)$  – красная ржавчина, то в подводной части наибольшая доля продуктов коррозии представлена гидроксидом железа  $Fe(OH)_3$  – черной ржавчиной (рис. 3).

Работоспособность системы водоотведения зависит от надежности работы каждого элемента. Поэтому основной целью при обследовании таких сооружений является определение наиболее уязвимых (критических) мест – «болевых точек» (рис. 1) и на этой основе разработка мер по обеспечению работоспособности именно этих участков. Статистические данные свидетельствуют, что чаще всего аварии происходят в коллекторах и камерах гашения напора (опасность 2), далее следуют канализационные насосные станции (опасность 1) и резервуары очистных сооружений канализации (опасность 3).

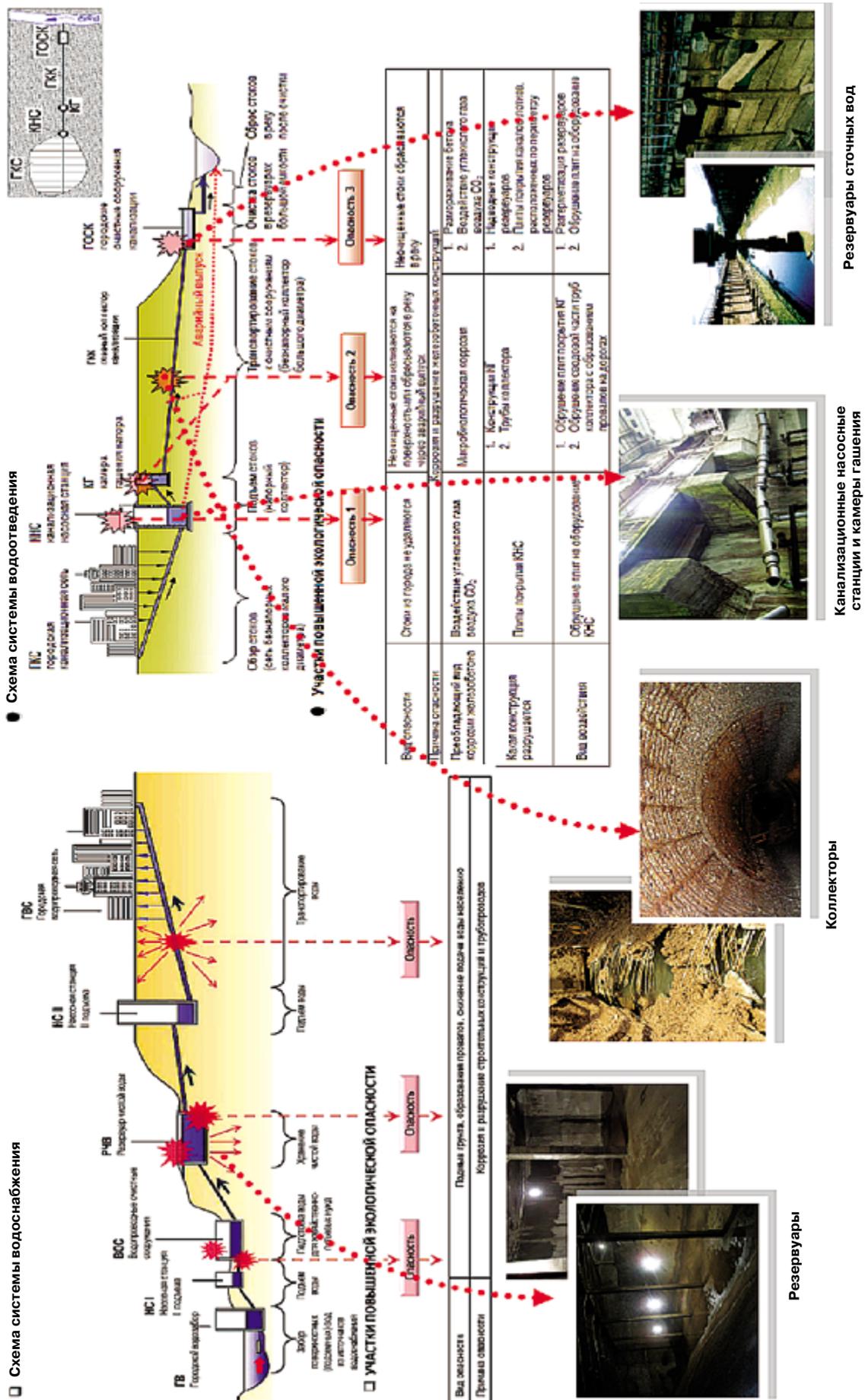


Рис. 1. Схема оценки экологической опасности городских систем водоснабжения и водоотведения

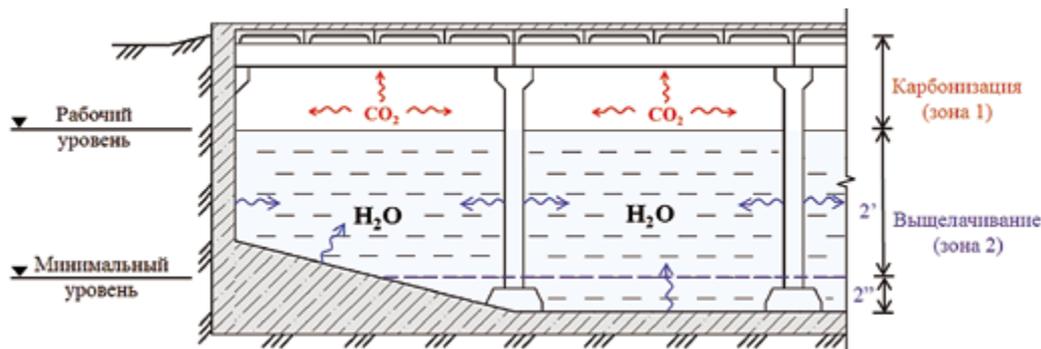


Рис. 2. Характеристика эксплуатационной среды в резервуарах чистой воды [1]: зона 1 – воздействие углекислого газа воздуха, вызывающего коррозию карбонизации бетона в надводной части; зона 2 – воздействие на бетон вод малой жесткости («чистой» воды), вызывающее коррозию выщелачивания в подводной части



Рис. 3. Скол защитного слоя бетона колонны резервуара питьевого назначения: 1 – продукты коррозии (черная ржавчина) на арматурном стержне; 2 – продукты коррозии арматуры (черная ржавчина), продиффундировавшие от арматуры в направлении внешней поверхности колонны (темно-бурый цвет); 3 – продукты коррозии арматуры (красная ржавчина), продиффундировавшие от арматуры в направлении внешней поверхности колонны (красновато-бурый цвет); 4 – обнажение заполнителя на боковой грани колонны из-за растворения цементного камня; L – глубина нейтрализации бетона



Рис. 4. Разрушение конструкций канализационных насосных станций: а – плиты покрытия; б – стены опускного колодца



Рис. 5. Образование провала на дороге из-за разрушения коллектора [2, 3]: а – образование провала и один из этапов ликвидации аварии на коллекторе; б – уменьшение стенки трубы коллектора диаметром 1000 мм со 100 до 10 мм за 30 лет эксплуатации



Рис. 6. Разрушение железобетонных труб коллектора из-за микробиологической коррозии [2]

### Опасность 1

#### Канализационные насосные станции (КНС)

Здесь разрушению подвергаются плиты покрытия и стены канализационных насосных станций (рис. 4). Причиной ускоренного износа плит покрытия является интенсивная коррозия карбонизации в условиях повышенных значений влажности воздуха, концентрации углекислого газа и температуры. Стены КНС, расположенные ниже нулевой отметки, разрушаются из-за биокоррозии, связанной с высокой концентрацией сероводорода, выделяющегося во внутренний объем станции

через технологические проемы и отверстия в заглубленной части опускного колодца.

Основным деструктивным фактором в камерах гашения напора и коллекторах сточных вод является микробиологическая коррозия, вызываемая воздействием серной кислоты – продукта метаболизма тионовых бактерий, которые уже через несколько лет после строительства поселяются на сводовой части труб, приводя к их ускоренному разрушению (рис. 6) [2, 3]. Схема этого коррозионного процесса на примере канализационного коллектора представлена на рис. 7 [2, 3].

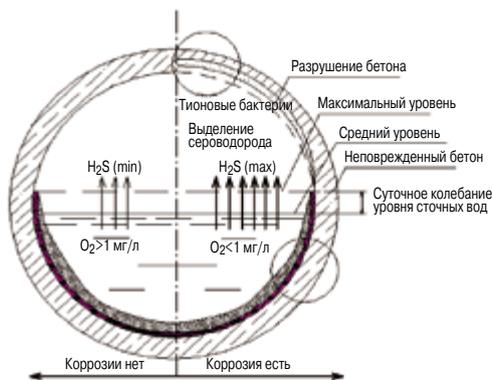


Рис. 7. Схема микробиологической коррозии бетона канализационного коллектора [2]



Рис. 9. Вторичные отстойники очистных сооружений УВИК Филиала ФГУП «НПО «Микроген» Минздрава России в Томске



Рис. 8. Городские очистные сооружения г. Уфы [14]



Рис. 10. Очистные сооружения с. Нурлино Уфимского района Республики Башкортостан



### Опасность 2

#### Камеры гашения напора и коллекторы сточных вод

Из-за коррозии бетона сводов коллекторов и перекрытий камер гашения происходят провалы на дорогах города (рис. 5).

### Опасность 3

#### Резервуары очистных сооружений канализации

Емкостные сооружения системы водоотведения (аэротенки, отстойники, приемные резервуары) чаще всего являются открытыми. Их конструкции подвержены ускоренному износу под действием агрессивных сред как внутри сооружений (многокомпонентные сточные воды, реагенты, активный ил), так и снаружи (грунтовые воды, климатическое воздействие).

При этом незначительной коррозии подвергаются конструкции подводной части резервуаров, а интенсивному размораживанию — надводной части резервуаров [4, 5].

Таким образом, основными причинами ускоренного коррозионного износа железобетонных конструкций в системах водоотведения являются следующие:

- недооценка агрессивности среды на этапе проектирования. Так, согласно СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» сточные воды, имеющие, как правило,  $pH=6-8$ , являются средой неагрессивной к бетону и железобетону; оценка же проектировщиками опасности микробиологической коррозии вследствие повышения концентрации сероводорода в настоящее время затруднена в связи с отсутствием технической возможности надежного прогнозирования этой концентрации в водоотводящей сети;
- низкое качество изготовления строительных конструкций и строительно-монтажных работ (долговечность железобетона в конечном счете определяют два параметра — толщина и плотность защитного слоя бетона, однако при строительстве объектов водоотведения практически отсутствует контроль за соблюдением проектных значений этих параметров);

- недопустимо малые объемы применения антикоррозионных материалов (в связи с тем, что даже в современных проектах отсутствуют указания о необходимости их применения либо эти материалы не были применены — по причине их дефицита в 1960–1970-х гг. — период строительства основного объема водоотводящих сетей, эксплуатирующихся ныне);
- повышение агрессивности эксплуатационной среды из-за изменения состава сточных вод (из-за увеличивающегося потребления населением белковых продуктов и моющих средств, содержащих сульфаты) и их температуры (слива в систему горячей воды из стиральных и посудомоечных машин) [6];
- «налипание» иловых отложений на поверхность конструкций — стенках и конструктивных элементах.

Повышение эксплуатационной надежности объектов систем водоотведения до уровня нормативных значений по критерию долговечности возможно за счет проведения следующих мероприятий: нормирование агрессивности среды по скорости коррозии бетона; расчетно-экспериментальное обоснование значений параметров антикоррозионной защиты; применение современных высокотехнологичных антикоррозионных наноматериалов и технологий; безусловное соблюдение параметров качества на этапах изготовления и возведения конструкций [7, 8].

Сотрудниками кафедры «Строительные конструкции» УГНТУ в период 2003–2016 гг. проведено комплексное обследование железобетонных конструкций трех крупных канализационных станций, пяти камер гашения напора, более 20 км коллекторов и 16 резервуаров на очистных сооружениях различной производительности [9]. Среди них можно выделить блоки емкостей № 1 и № 2 ГОСК г. Уфы МУП «Уфаводоканал», введенные в эксплуатацию в 1974 и 1985 гг. соответственно (рис. 8) [10–13]; блок емкостей ГОСК г. Дюртюли Республики Башкортостан МУП «Башводоканал»; очистные сооружения УВИК Филиала ФГУП «НПО «Микроген» Минздрава России в г. Томск (рис. 9); сооружения системы очистки сточных вод в с. Нурлино Уфимского района

Республики Башкортостан (рис. 10); очистные сооружения в г. Ревда Свердловской области.

По результатам этих исследований защищены четыре кандидатские диссертации [2, 3, 13, 14], разработаны «Рекомендации по оценке и обеспечению долговечности железобетона в системах водоснабжения и водоот-

ведения на этапах их проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта». Их внедрение на вышеперечисленных объектах позволило реализовать технико-экономически обоснованные способы восстановления эксплуатационной надежности поврежденных конструкций.

**Список литературы**

1. Анваров Б.Р., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Крамар Л.Я. К вопросу о механизме повреждения железобетона при коррозии выщелачивания // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 2. С. 12–26.
2. Ахмадуллин Р.Р. Повышение долговечности железобетона в условиях сероводородной коррозии. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа. 2006. 154 с.
3. Кантор П.Л. Повышение долговечности железобетона водоотводящих коллекторов. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа. 2012. 143 с.
4. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Луцык Е.В., Федоров П.А. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах. Уфа: УГНТУ, 2014. 288 с.
5. Комохов П.Г., Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Вагапов Р.Ф. Долговечность бетона и железобетона. Приложения методов математического моделирования с учетом ингибирующих свойств цементной матрицы. Уфа: Белая река, 1988. 216 с.
6. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Киев: Оранта, 2004. 295 с.
7. Луцык Е.В., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Федоров П.А., Авренюк А.Н., Тойхерт Л.А. Применение наноматериалов на цементной основе при ремонте железобетона. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2010. № 2. С. 20–25.
8. Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Латыпова Т.В., Луцык Е.В. Современные материалы для антикоррозионной защиты и гидроизоляции строительных конструкций: Справочное пособие. Уфа: УГНТУ, 2007. 213 с.
9. Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Луцык Е.В., Ахмадуллин Р.Р., Федоров П.А., Анваров А.Р., Авренюк А.Н. Исследования преподавателей и сотрудников кафедры «Строительные конструкции» УГНТУ по направлению «Повышение долговечности бетона и железобетона» // «*Строительство. От науки к инновациям*». *Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Уфа: 2013. С. 21–30.
10. Латыпов В.М., Ломакина Л.Н. Долговечность бетона в емкостных сооружениях водоочистки. В сб.: *Проблемы прочности и долговечности бетона и железобетона. Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.Ф. Полака*. Уфа, 2011. С. 251–253.
11. Ломакина Л.Н., Латыпова Т.В. Эксплуатационная надежность строительных конструкций емкостных сооружений водоочистки // *Материалы XIV международной научно-технической конференции – 2010*. Уфа, 2010.
12. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Валишина Л.Н., Луцык Е.В., Ахмадуллин Р.Р., Анваров А.Р. Стойкость бетона и железобетона в емкостных сооружениях водоочистки // *Строительные материалы*. 2003. № 10. С. 36–37.
13. Валишина (Ломакина) Л.Н. Стойкость бетона и железобетона в емкостных сооружениях водоочистки. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2003. 207 с.
14. Авренюк А.Н. Восстановление бетона и железобетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений материалами на цементной основе. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 179 с.

**References**

1. Anvarov B.R., Latypov T.V., Latypov V.M., Kramar L.Y. On the mechanism of reinforced concrete damaged by corrosion leaching. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2015. No. 2, pp. 12–26. (In Russian).
2. Akhmadullin R.R. Increased concrete durability in a hydrogen sulfide corrosion. Cand. Diss. (Engineering). Ufa. 2006. 154 p. (In Russian).
3. Kantor P.L. Increased durability of reinforced concrete drainage collectors. Cand. Diss. (Engineering). Ufa. 2012. 143 p. (In Russian).
4. Latypov V.M., Latypova T.V., Lutsyk E.V., Fedorov P.A. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona v prirodnykh agressivnykh sredakh [The durability of concrete and reinforced concrete in the natural aggressive media]. Ufa: USPTU. 2014. 288 p.
5. Komokhov P.G., Latypov V.M., Latypova T.V., Vagapov R.F. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona. Prilozheniya metodov matematicheskogo modelirovaniya s uchetom ingibiruyushchikh svoystv tsementnoi matritsy [The durability of concrete and reinforced concrete. Application of methods of mathematical modeling based on the inhibitory properties of the cement matrix]. Ufa: Belaya reka. 1988. 216 p.
6. Stark J., Wicht B. Долговечность бетона [Concrete Durability]. Kiev: Oranta, 2004. 295 p.
7. Lutsyk E.V., Latypova T.V., Latypov V.M., Fedorov P.A., Avrenyuk A.N., Toyhert L.A. The use of nanomaterials based on cement for the repair of reinforced concrete. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2010. No. 2, pp. 20–25. (In Russian).
8. Latypov V.M., Lomakina L.N., Latypova T.V., Lutsyk E.V. Sovremennyye materialy dlya antikorroziionnoi zashchity i gidroizolyatsii stroitel'nykh konstruktsii. Spravochnoe posobie [Modern materials for corrosion protection and waterproofing of building structures. Handbook]. Ufa: USPTU. 2007. 213 p.
9. Latypov V.M., Lomakina L.N., Lutsyk E.V., Akhmadullin R.R., Fedorov P.A., Anvarov A.R., Avrenyuk A.N. Research lecturers and staffs of the department “Building construction” USPTU towards “Improving the durability of concrete and reinforced concrete”. “*Construction. From science to innovation*”. *Materials of Russian scientific-practical conference*. Ufa. 2013. pp. 21–30. (In Russian).
10. Latypov V.M., Lomakina L.N. Durability of concrete in water treatment plants capacitive. *The Problems of strength and durability of concrete and reinforced concrete. Materials of scientific-technical conference devoted to the 100th anniversary of the birth of professor A.F. Polak*. Ufa. 2011. pp. 251–253. (In Russian).
11. Lomakina L.N., Latypova T.V. The operational reliability of building structures of capacitive structures purification. *Materials XIV International Scientific and Technical conference. Exhibition “Building. Utilities. Energy Saving–2010”*. Ufa 2010. (In Russian).
12. Latypov V.M., Latypova T.V., Valishina L.N., Lutsyk E.V., Akhmadullin R.R., Anvarov A.R. Durability of concrete and reinforced concrete in water treatment plants capacitive. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 10, pp. 36–37. (In Russian).
13. Valishina L.N. Durability of concrete and reinforced concrete in water treatment plants capacitive. Cand. Diss. (Engineering). Ufa. 2003. 207 p. (In Russian).
14. Avrenyuk A.N. Restoration of concrete and reinforced concrete after the destructive impact of sulfur-containing compounds based on cement materials. Cand. Diss. (Engineering). Ufa. 2009. 179 p. (In Russian).