

РЕАГЕНТНЫЙ МЕТОД УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Е. В. Пакалова, Г. Б. Абуова, Л. А. Шарагин

Пакалова Екатерина Владимировна, ведущий инженер по охране окружающей среды, ОАО «РЖД», г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 571-75-90; e-mail: e_pakalova@mail.ru;

Абуова Галина Бекмуратовна, декан факультета инженерных систем и пожарной безопасности, кандидат технических наук, доцент кафедры пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 093-16-27; e-mail: isipb@aucu.ru;

Шарагин Леонид Александрович, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (964) 881-56-94; e-mail: sharaginl@mail.ru

В работе рассмотрена проблема, связанная с эвтрофированием водоемов при сбросе в них остаточных концентраций фосфора. Эвтрофирование это природный процесс, однако разные потребители воды увеличили использование биогенных веществ, что свидетельствует увеличения фитопланктона, водной растительности на мелких водоемах и изменение качества воды. Одним из главных загрязнителей, являются канализационные очистные сооружения, которые сбрасывают в водоемы очищенную воду с содержанием фосфора, превышающие предельно допустимые концентрации. Для решения проблемы, необходимо совершенствовать работу сооружений биологической очистки сточных вод. В статье рассмотрена эффективность работы канализационных очистных сооружений г. Астрахани. Проанализированы данные объемов фактических стоков, качество поступающих и очищенных сточных вод. Для повышения эффективности работы аэротенков предлагается реагентный метод удаления фосфора. Приведено экспериментальное исследование по определению наиболее эффективного реагента и его дозы для удаления биогенных веществ, а также определена точка ввода реагента.

Ключевые слова: эвтрофирование, дефосфотация, фосфор, реагенты, очистка сточных вод.

REAGENT METHOD OF PHOSPHATE REMOVAL AS A WAY TO IMPROVE QUALITY WASTEWATER TREATMENT

Ye. V. Pakalova, G. B. Abuova, L. A. Sharagin

Pakalova Yekaterina Vladimirovna, leading engineer for environmental protection, JSC "Russian Railways", Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (927) 571-75-90; e-mail: e_pakalova@mail.ru;

Abuova Galina Bekmuratovna, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Fire Safety, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fire Safety and Water Use, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 093-16-27; e-mail: isipb@aucu.ru;

Sharagin Leonid Aleksandrovich, undergraduate student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (964) 881-56-94; e-mail: sharaginl@mail.ru

The paper considers the problem associated with the eutrophication of reservoirs when residual phosphorus concentrations are discharged into them. Eutrophication is a natural process, but different water consumers have increased the use of nutrients, which indicates an increase in phytoplactone, aquatic vegetation in shallow reservoirs and a change in water quality. One of the main pollutants is sewage treatment plants, which discharge purified water with phosphorus content exceeding MPC into reservoirs. To solve the problem, it is necessary to improve the operation of biological wastewater treatment facilities. The article considers the efficiency of the sewage treatment plants in Astrakhan. The data on the volume of actual wastewater, the quality of incoming and treated wastewater is analyzed. To increase the efficiency of the aeration tanks, a reagent method of phosphorus removal is proposed. An experimental study is presented to determine the most effective reagent and its dose for removal of biogenic substances, as well as the reagent injection point has been determined.

Keywords: eutrophication, dephosphotation, phosphorus, reagents, wastewater treatment.

В последнее время большое внимание уделяется проблеме охраны окружающей среды, особенно водных ресурсов. Одним из антропогенных загрязнений водоемов является выпуск в них сточных вод от промышленных предприятий и населенных мест. Плохо очищенные сточные воды, поступающие в водоем, могут оказывать различное негативное влияние на водные ресурсы [1].

В настоящее время в регионах России существует ряд проблемных вопросов, от своевременного решения которых зависит надежная и бесперебойная работа систем водоснабжения и водоотведения, а также их экологическая безопасность. Источником водоснабжения города являются поверхностные речные воды, которые постоянно

подвергаются антропогенному загрязнению [2, 3]. Большое воздействие на состояние вод Волги и ее рукавов оказывают предприятия, расположенные выше по течению реки [4, 5]. Ухудшение качества воды в поверхностных источниках происходит, главным образом, из-за их постоянного загрязнения веществами: нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами, органическими и биогенными элементами и пр., что связано с недостаточной глубиной очистки сточных вод. С каждым днем все больше увеличивается содержание биогенных элементов (азота и фосфора) [6, 7].

Самоочищающаяся способность водных ресурсов не справляется с токсичными веществами, сбрасываемыми со стоками, ситуацию ухудшают и

климатические условия, связанные с увеличением среднегодовой температуры воздуха. В следствии чего, все чаще наблюдается эвтрофикация водоемов, вызванная высокими температурами и повышенным содержанием биогенных веществ, в большинстве своем попадающих в реки со сточными водами, что приводит к бурному развитию водорослей, дефициту кислорода, гибели рыб и других животных [8].

На сегодняшний день подавляющее большинство очистных сооружений работают по схемам биологической очистки в аэробных условиях, которые имеют ряд существенных недостатков, в том числе чувствительность процесса к качеству стоков, колебания их расхода, недостаточно глубокое удаление соединений фосфора [9, 10] и др.

В связи с этим актуальным становится вопрос об улучшении качества очистки сточных вод до требований нормативов с помощью применения биолого-химических схем очистки, сочетающим в себе биологическое окисление растворенных загрязнений и обработку воды коагулянтами для доочистки сточных вод от биогенного фосфора фосфатов.

К основным достоинствам подобных решений можно отнести устойчивость к колебаниям входных расходов воды и концентраций загрязнителей, значительное снижение концентрации фосфатов, возможность управления глубиной очистки путем варьирования дозы реагентов [11].

Для определения необходимости внедрения в действующую систему очистки очистных сооружений канализации реагентного метода удаления фосфатов было поставлено несколько основных задач: проанализировать работу очистных сооружений, оценить эффективность очистки сточных вод, провести подбор коагулянта, его дозы, а также определить наилучшую точку ввода.

Рассмотрим эффективность очистки сточных вод в г. Астрахани. На данный момент на очистных сооружениях канализации г. Астрахани используется биологическая очистка сточных вод (аэротенки), которые предназначены для удаления растворенных, коллоидных и взвешенных органических веществ загрязнений, поступающих на эти сооружения со

сточной водой. Сущность биологического окисления загрязнений заключается в потреблении их, в качестве питательных веществ, микроорганизмами активного ила в присутствии растворенного в воде кислорода. Кислород потребляется микроорганизмами в процессе их дыхания и расходуется в клетках на ферментативное окисление питательных веществ и собственные нужды клеток. Продуктами процесса биохимического окисления загрязнений хозяйственно-бытовых сточных вод является углекислота, вода, инертная масса, экзотермическая энергия и новые клетки микроорганизмов активного ила. В процессе биохимического окисления микроорганизмы потребляют из воды растворенные фосфаты и азот аммонийный, который окисляется до нитритов и азота нитратов, при этом очистки от фосфатов не происходит и весь объем сбрасывается в поверхностный источник.

В ходе работы были проанализированы фактические данные по притокам за трехлетний период с 2019 по 2021 год, и на основании полученных результатов определены расчетные расходы сточных вод.

Полученные данные представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Анализ массива данных состава сточных вод показал, что содержание некоторых загрязнителей в сточных водах на канализационных очистных сооружениях (далее – КОС) значительно изменяется из года в год.

Фактические данные средних концентраций загрязняющих веществ в сточной воде до и после прохождения очистки за 2019–2022 годы представлены в таблице 2.

Процесс удаления фосфора биологическим путем является неустойчивым, зависит от многих факторов и не позволяет обеспечить его стабильное содержание в очищенной сточной воде.

Для гарантированного доведения концентрации содержания фосфора до требований сброса в водоем рыбохозяйственного значения, на случай неэффективной биологической очистки, дополнительно предусматривается удаления соединений фосфора.

Таблица

Расчетные расходы

Наименование	Параметр	Значение	Ед. изм.
Средний суточный расход	$Q_{d\text{ mid}}$	27 762	м ³ /сут
Максимальный суточный расход	$Q_{d\text{ max}}$	44 356	м ³ /сут
$Q_{d\text{ max}} = k_{d\text{ max}} \times k_{d\text{ rain}} \times Q_{d\text{ mid}}$	$k_{d\text{ max}} \times k_{d\text{ rain}}$	1,60	–
Минимальный суточный расход	$Q_{d\text{ min}}$	8 231	м ³ /сут
$Q_{d\text{ min}} = k_{d\text{ min}} \times Q_{d\text{ mid}}$	$k_{d\text{ min}}$	0,30	–
Суточный расход 85 % процентиля	$Q_{d\text{ 85}}$	39 294	м ³ /сут
$Q_{d\text{ 85}} = k_{d\text{ 85}} \times Q_{d\text{ max}}$	$k_{d\text{ 85}}$	0,89	–
Средний часовой расход	$Q_{h\text{ mid}}$	1 157	м ³ /сут
Максимальный часовой расход	$Q_{h\text{ max}}$	3 013	м ³ /сут
$Q_{h\text{ max}} = k_{h\text{ max}} \times k_{h\text{ rain}} \times Q_{d\text{ max}/24}$	$k_{h\text{ max}} \times k_{h\text{ rain}}$	1,63	–
Минимальный часовой расход	$Q_{h\text{ min}}$	127	м ³ /сут
$Q_{h\text{ min}} = k_{h\text{ min}} \times Q_{d\text{ min}/24}$	$k_{h\text{ min}}$	0,37	–
Средний часовой расход 85 % процентиля	$Q_{h\text{ mid 85}}$	1 637	м ³ /сут
Максимальный часовой расход 85 % процентиля	$Q_{h\text{ max 85}}$	2 669	м ³ /сут
Эквивалентная численность жителей	N_{req}	138 810	чел.
Норма водопотребления	Q_{req}	200	л/(чел. × сут)

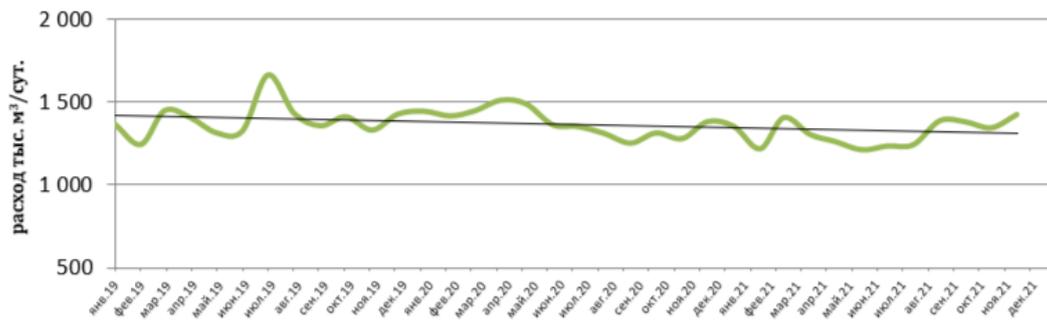


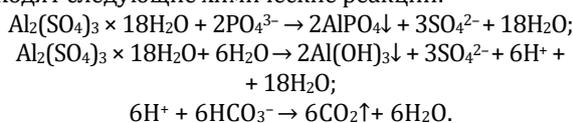
Рис. 1. График расходов сточных вод (тыс. м³/мес.) по месяцам на КОС за 2019–2021 годы

Таблица 2

Фактические данные средних концентраций загрязняющих веществ в сточной воде до и после прохождения очистки за 2019–2022 годы

Показатели	Ед. изм.	Среднее значение, мг/л		ПДК, мг/л	Эффективность очистки, %
		До очистки	После очистки		
Сухой остаток	мг/л	676	590	1000	13
Водородный показатель	pH	7,3	7,1	6,0-9,0 ед. pH	3
Нефтепродукты	мг/л	1,530	0,45	0,1	71
БПК полное	мг/л	189	3,963	3	98
Фенолы	мг/л	0,1137	0,0092	0,001	92
СПАВ	мг/л	1,96	0,42	0,1	79
Взвешенные вещества	мг/л	165	13,5	10	92
Алюминий	мг/л	0,338	0,048	0,04	86
Железо	мг/л	0,591	0,307	0,1	48
Хлориды	мг/л	181,9	158	300	13
Сульфаты	мг/л	126,9	108	100	7
Аммония ионы	мг/л	48,4	7,35	0,5	85
Медь	мг/л	0,0292	0,0065	0,001	66
Азот аммонийный	мг/л	36,99	5,73	0,4	85
Фосфаты (P)	мг/л	2,75	2,67	0,2	3

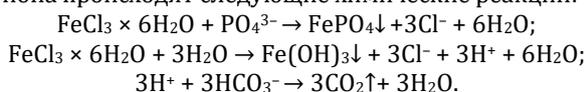
Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для удаления фосфора фосфатов наиболее целесообразно применение реагентного метода. Механизм химического осаждения фосфатов состоит в образовании нерастворимых фосфатов при взаимодействии фосфатов с солями металлов (Fe, Al, Mg, Ca), например при использовании в качестве реагента сульфата алюминия (Al₂(SO₄)₃ × 18H₂O) происходят следующие химические реакции:



При приготовлении указанного реагента pH рабочего раствора следует поддерживать в пределах от 5,0 до 7,5.

Для осаждения фосфора применяются соединения железа, в виде солей двухвалентного железа: сульфата, хлорида, солей трехвалентного железа: сульфата, хлорида, комплексной соли.

При дозировании железа в виде трехвалентного иона происходят следующие химические реакции:



При приготовлении указанного реагента pH рабочего раствора следует поддерживать в пределах от 3,5 до 6,5 [12].

Согласно стехиометрии реакции на один атом железа (56 г) осаждается один атом фосфора (31 г). Соответственно на удаление 1 г фосфора фосфатов,

по стехиометрии, требуется 1,806 г железа или 6,45 г сульфата железа Fe₂(SO₄)₃.

Фактическая дозировка всегда больше стехиометрической. Отношение фактической дозы реагента (ДФ) к стехиометрической (ДС) называется коэффициентом запаса. Необходимый коэффициент запаса возрастает с уменьшением остаточной концентрации фосфора фосфатов.

В работе были проведены экспериментальные исследования по подбору оптимального режима реагентного удаления фосфатов из сточной воды. Эксперимент проводили по следующей методике: при откачке осадка из первичных отстойников отбирали 10 л смеси осадка и ила, отстаивали в течение 6–8 ч, сливали воду, отделившуюся от осадка, определяли в ней содержание фосфатов и подвергали реагентной обработке.

На первом этапе исследований в качестве реагентов использовали сульфат железа (Fe₂(SO₄)₃), сульфат алюминия (Al₂(SO₄)₃) и оксихлорид алюминия (ОХА) с соотношением Al/Cl 1,74. Диапазон доз был выбран в соответствии с рекомендациями СП 32.13330.2020.

Реагенты вводили в виде растворов, содержащих 1 мг железа или алюминия в 1 мл воды. После реагентной обработки воду отстаивали в течение двух часов и определяли в ней содержание фосфатов. Исходное содержание фосфатов в сточной воде составило 12,2 мг × PO₄³⁻/л (или 4,0 мгP/л). Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние типа и дозы реагента на эффективность удаления фосфатов

Реагент	Доза реагента, мг/л	Содержание фосфатов, мг PO ₄ ³⁻ /л	Эффективность удаления фосфатов, %
Fe ₂ (SO ₄) ₃	10	5,8	52,4
	24	1,0	83,8
	30	0,5	98,9
Al ₂ (SO ₄) ₃	5	6,0	50,8
	12	0,8	88,4
	20	0,7	94,2
ОХА	5	9,3	23,8
	12	9,4	23,0
	20	6,8	44,3

Как видно из таблицы, наиболее эффективно применение сульфата железа дозой 30 мг/л. Это соответствует рекомендуемому сводом правил [11] соотношению: 2,7 кг железа на 1 кг осажденного фосфора с коэффициентом не менее 3,0 при остаточной концентрации фосфора фосфатов 0,2 мг/дм³.

Как показали исследования, при обработке сточной воды сульфатом железа в дозе 30 мг/л по вышеприведенной схеме можно достичь практически полного удаления фосфатов из сточной воды.

В качестве коагулянта для дефосфотации хорошие результаты показали сульфат железа и сульфат алюминия. Наиболее эффективным является сульфат железа (III).

Существуют три принципиальные схемы применения коагулянтов для улучшения работы действующих сооружений биологической очистки сточных вод:

1) ввод коагулянта перед биологическим процессом – отдельной стадией после песколовок или непосредственно в первичные отстойники;

2) введение коагулянта после полного цикла биологической очистки – отдельной стадией после вторичных отстойников;

3) использование коагулянтов для интенсификации разделения ило-водяной смеси [13, 14].

Поэтому для определения точки ввода коагулянта был проведен дополнительный эксперимент с введением коагулянта в сточную воду после песколовок перед первичным отстойником для определения изменения соотношения БПК₅ к ХПК.

Для данных исследований был выбран коагулянт сульфат железа и сульфат алюминия.

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Влияние типа и дозы коагулянта на изменение соотношений БПК₅ к ХПК

Реагенты и дозы, мг/л	Содержание фосфатов, мг PO ₄ ³⁻ /л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л
Fe ₂ (SO ₄) ₃	12,2	76,0	84,1	210
10	5,8	6,84	17,7	82
24	1,0	3,8	17,0	73
30	0,5	1,52	16,2	70
Al ₂ (SO ₄) ₃	-	-	-	-
5	6,0	7,32	18,2	86
12	0,8	4,12	17,8	82
20	0,7	1,88	17,3	79

В диапазоне исследуемых доз все реагенты позволяли снижать 91–98 % взвешенных веществ, причем эффективность возрастала в линейной зависимости от дозы реагента. Степень удаления органических веществ также возрастала с увеличением дозы коагулянта, но зависимость носила нелинейный характер. Так, реагент сульфат железа в диапазоне доз 10–30 мг/л позволял снимать 79–81 % БПК₅ и 61–67 % ХПК, сульфат алюминия от 78 до 79 % БПК₅ и 59–62 % ХПК.

Кроме того, наблюдалось изменение соотношения БПК₅ и ХПК в очищенной воде, то есть легко- и труднодоступные для биологического окисления органические вещества удалялись с различной интенсивностью. Так, если в исходной воде соотношение БПК₅: ХПК составляло 40 %, то при использовании реагентов оно снижалось до 23 %. При реагентной очистке это не имеет большого значения, однако если после ввода коагулянтов предполагается биологическая доочистка воды

в аэротенках, такое изменение может значительно влиять на ее эффективность.

Поэтому за основную точку дозирования принимаем точку после вторичных отстойников. Считаем, что технология обработки сточной воды нуждается в дальнейших исследованиях и предлагаемая технологическая схема включает использование в качестве реагента сульфата железа (III). При обработке сточной воды сульфатом железа (III) в дозе 30 мг/л можно достичь практически полного удаления фосфатов, тем самым решив вопрос об улучшении качества очистки сточных вод до требований нормативов, что повлечет за собой улучшений экологического состояния водного объекта, а также снижения платы за негативное воздействие на окружающую среду и улучшение экономического положения предприятия.

Для достижения максимальной эколого-экономической эффективности реконструкции очистных сооружений определение наилучшей технологии [15] для данного объекта необходимо осуществлять

в увязке с оценкой состояния водного объекта, куда осуществляется сброс обрабатываемой сточной воды. Данная увязка должна обеспечить применение

технологии, оптимально соответствующей экологическому состоянию водного объекта.

Список литературы

1. Хромов А. В. Динамика использования и качество поверхностных вод Астраханской области / А. В. Хромов // Вестник АГТУ. – 2006. – № 6.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. – М.: Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Астраханской области в 2019 году: государственный доклад. – Астрахань: Управление Роспотребнадзора по Астраханской области, 2020.
4. Функ А. А. Удаление азота из сточной жидкости: автореф. / А. А. Функ. – Новосибирск, 2011.
5. Долина Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: Монография. Днепропетровск, 2011.
6. Броницын А. Ю. Современные тенденции эколого-ориентированного инновационного развития в сфере очистки сточных вод предприятиями ЖКХ в России и за рубежом / А. Ю. Броницын // Вестник ГУУ. – 2017. – № 7–8.
7. Медведев А. А. Современные проблемы очистки природной воды и пути их решения / А. А. Медведев, Е. В. Пакалова // Перспективы развития строительного комплекса: мат-лы XIV Международной научно-практической конференции. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020.
8. Абуова Г. Б. Экологическое состояние водных объектов в южном регионе России / Г. Б. Абуова, Н. С. Масютин, Е. В. Москвичева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 4 (26).
9. Качалова Г. С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод / Г. С. Качалова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №2 (78).
10. Крючихин Е. М. Эффективная очистка городских сточных вод от биогенных элементов на ЦСА Санкт-Петербурга / Е. М. Крючихин, А. Н. Николаев, Н. А. Жильникова, О. Н. Рублевская, Г. А. Панкова, Г. Н. Рафалович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 12.
11. Колова А. Ф. Реагентное удаление фосфатов из сливных вод / А. Ф. Колова, Т. Я. Пазенко, Е. М. Чудинова // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 10 (81).
12. Чудинова Е. М. Удаление фосфатов из сливных вод, образующихся при механическом обезвоживании осадков / Е. М. Чудинова // Молодежь и наука: сб. мат-лов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013.
13. Wang Sheng. Предварительная очистка городских сточных вод с применением коагулянтов / Wang Sheng, Xu Zu-xin, Qu Ji-ning // Zhongguo jishui paishui = China Water and Wastewater. – 2005. – № 1.
14. Вильсон Е. В. Методологические аспекты физико-химического удаления фосфора из сточных вод на различных этапах очистки / Е. В. Вильсон, Е. Ю. Романенко // Символ науки. – 2015. – № 11–1.
15. Данилович Д. А. Категорирование водных объектов для целей установления технологических показателей НТД / Д. А. Данилович // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2018.

© Е. В. Пакалова, Г. Б. Абуова, Л. А. Шарагин

Ссылка для цитирования:

Пакалова Е. В., Абуова Г. Б., Шарагин Л. А. Реагентный метод удаления фосфатов – как способ улучшения качества очистки сточных вод // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 46–50.

УДК 691

DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-50-54

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА БЕТОНА

С. В. Леонтьев, А. А. Талейко

Леонтьев Степан Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; e-mail: n1306cl@yandex.ru;

Талейко Андрей Алексеевич, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; e-mail: taleyko.99@mail.ru

В статье приводятся результаты сравнения температурных полей, построенных по данным численного моделирования процесса прогрева бетона греющим проводом, и значений температур бетона, полученных в ходе проведения аналогичного натурального эксперимента. Суть эксперимента состояла в прогреве элемента бетонной конструкции с помощью нихромовой проволоки, размещенной в теле бетона. В качестве источника напряжения использовался инверторный сварочный аппарат, напряжение на концах проволоки было постоянным, регулирование прогрева осуществлялось периодическим включением и выключением питания. Измерение температуры бетона в процессе тепловой обработки осуществлялось в центральной и угловой точках конструкции. Полученные в ходе натурального эксперимента температурные данные сравнивались с данными аналогичной модели, построенной в программном комплексе Elcut. По результатам исследований был сделан вывод о схожести результатов, получаемых с помощью модели, и данных натурального эксперимента, а также проанализированы факторы, объясняющие имеющиеся расхождения данных.

Ключевые слова: электропрогрев бетона, моделирование прогрева монолитных железобетонных конструкций, прогрев греющим проводом, EL CUT, зимнее бетонирование, управление электропрогревом бетона.