

УДК 667.637.222:625.75

Тур Э. А., Басов С. В.

## ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Введение.** В последние годы не только в водохозяйственном строительстве, возведении и эксплуатации гидротехнических сооружений, но и во всей индустрии защиты от коррозии происходит некоторая смена приоритетов, проходящая под влиянием новых исследований и разработок, проводимых производителями лакокрасочных материалов.

Заказчики и потребители требуют сейчас не просто улучшения антикоррозионных свойств предложенных материалов. Имеются производственные заказы на системы защиты от коррозии, которые не только по-прежнему гарантируют надежную долгосрочную защиту, обладают высокими декоративными свойствами на весь срок службы, но и имеют приемлимую стоимость за счет: уменьшения слоев краски; повышения укрывистости и уменьшения расхода; упрощения используемых лакокрасочных систем; повышения производительности малярных работ с помощью применения быстросохнущих и легких в нанесении красок; усиления антикоррозионной защиты, обусловленной применением цинкнаполненных грунтовок.

Для гидротехнических сооружений и конструкций водохозяйственного строительства характерны специфические виды коррозии металлов. Основные из них:

коррозия в трещинах (сложно избежать трещин, например, в лестницах, в местах, где ступенька привинчена к штанге. В таких трещинах могут скапливаться отложения с большим содержанием хлоридов и сульфатов. Слой пассивации в этом месте более подвержен коррозии. Также агрессивное сочетание с высокой температурой воды может усугубить опасность этого явления. Типичный признак: "флажки" ржавчины в местах стыков на лестнице);

питтинговая коррозия (на поверхности оборудования из нержавеющей стали под действием солей со временем образуются маленькие отверстия в поверхности. Такое явление часто имеет место там, где периодически понижается уровень речной или морской воды, оставляя после себя пятна солевых отложений);

контактная коррозия (при контакте с загрязненной или морской водой на поверхности нержавеющей стали возникают отложения "железистых цветков". Типичный признак такой коррозии - потускневшие разводы на оборудовании);

межкристаллитная коррозия (тепловая обработка изменяет структуру металла, из которого изготовлено оборудование и изделия. В экстремальных случаях из-за термообработки возможно уменьшение содержания хрома на поверхности нержавеющей стали. Подобные процессы всегда чреватые коррозией).

На лакокрасочные покрытия ложится главная ответственность за защиту от коррозии, так как ими защищают более 80% поверхностей всех металлических изделий и конструкций. Эффективность применения лакокрасочных покрытий целесообразна при условии долговечности эксплуатации не более 10 лет и скорости коррозии металла до 0,05 мм/год. Если требуется повышение долговечности или скорость коррозии металла составляет 0,5–1,0 мм/год, то следует применять комбинированные покрытия.

Защита металла от коррозии заключается в создании на поверхности металлического изделия сплошной беспористой пленки, которая препятствует агрессивному воздействию окружающей среды и предохраняет металл от разрушения. Краски должны обладать низкой газовой и паропропускаемостью, водонепроницаемостью. Покрытие поверхности металла лакокрасочным слоем не исключает коррозию, а служит для нее лишь преградой, а значит, лишь тормозит процесс коррозии. Именно поэтому важное значение имеет качество покрытия – толщина слоя, пористость, равномерность, проницаемость, способность набу-

хать в воде, прочность сцепления (адгезия). Качество покрытия зависит от тщательности подготовки поверхности и способа нанесения защитного слоя. Окалина и ржавчина должны быть удалены с поверхности покрываемого металла. В противном случае они будут препятствовать хорошей адгезии покрытия с поверхностью металла. Низкое качество покрытия нередко связано с повышенной пористостью. Часто она возникает в процессе формирования защитного слоя в результате испарения растворителя и удаления продуктов отверждения и деформации (при старении пленки). Поэтому обычно наносят не один толстый слой, а несколько тонких слоев покрытия. Во многих случаях увеличение толщины покрытия приводит к ослаблению адгезии защитного слоя с металлом. Большой вред наносят воздушные полости, пузыри. Они образуются при низком качестве выполнения операции нанесения покрытия [1].

В зависимости от состава пигментов и пленкообразующей основы лакокрасочные покрытия могут выполнять функции барьера, пассиватора или протектора. Барьерная защита – это механическая изоляция поверхности. Нарушение целостности покрытия даже на уровне появления микротрещин предопределяет проникновение агрессивной среды к основанию и возникновение подпленочной коррозии. Пассивация поверхности металла с помощью ЛКМ достигается при химическом взаимодействии металла и компонентов покрытия. К этой группе относят грунты и эмали, содержащие фосфорную кислоту (фосфатирующие), а также составы с ингибирующими пигментами, замедляющими или предотвращающими процесс коррозии. Протекторная защита металла достигается добавлением в материал покрытия порошковых металлов, создающих с защищаемым металлом донорские электронные пары. Для стали такими являются цинк, магний, алюминий. Под действием агрессивной среды происходит постепенное растворение порошка добавки, а основной материал коррозии не подвергается [2].

Для установления скорости коррозии металла в данной среде обычно ведут наблюдения за изменением во времени какой-либо характеристики, объективно отражающей изменение свойства металла. Чаще всего в коррозионной практике используют следующие показатели:

- показатель изменения массы – изменение массы образца в результате коррозии, отнесенный к единице поверхности металла  $S$  и к единице времени;
- объемный показатель коррозии;
- показатель сопротивления. Изменение электрического сопротивления образца металла за определенное время испытаний также может быть использовано в качестве оценки скорости коррозии. У этого способа есть некоторый недостаток: толщина металла во все время испытаний должна быть одинаковой и по этой причине чаще всего определяют удельное сопротивление, т. е. изменение электрического сопротивления на единицу площади образца при длине, равной единице. Этот метод имеет ограничения применения (не пригоден для сварных соединений).

Метод окрашивания и условия нанесения лакокрасочных материалов существенно влияют на долговечность покрытий. Сроки службы покрытий в зависимости от метода окрашивания могут различаться на 15–25%, что объясняется разной структурой сформированных покрытий (лучше при электростатическом, воздушном, безвоздушном распылении; хуже при окунании, струйном обливе). Условия нанесения (влажность, температура окружающего воздуха) также влияют на качество и долговечность покрытий. При несоблюдении температурно-влажностных параметров на поверхности

*Тур Элина Аркадьевна, к. т. н., доцент, заведующая кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Басов Сергей Владимирович, к. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

Таблица 1 – Рецептуры красок

Наименование компонента	Массовая доля, %			
	краска			
	белая	чёрная	желтая	красная
Сополимер акриловый	28,0	28,0	28,0	28,0
Органический растворитель (солювент + толуол нефтяной)	36,0	36,0	36,0	36,0
Регулятор качества поверхности	0,3	0,3	0,3	0,3
Пластификатор (три(октил/децил)-меллитат)	3,0	3,0	3,0	3,0
Пигмент желтый свинцово-молибдатный	-	-	5,0	-
Пигмент красный свинцово-молибдатный	-	-	-	6
Диспергатор	0,5	0,5	0,5	0,5
Микротальк	5,0	5,0	5,0	5,0
Диоксид титана рутильной формы	15,0	-	3,0	1,0
Пигмент чёрный железоксидный	-	10,0	-	-
Микроаморфный наполнитель (d=1,5 мкм)	6,9	11,9	10,9	11,9
Диоксид кремния мелкодисперсный (агент реологии)	0,3	0,3	0,3	0,3
Слюда	5,0	5,0	-	-
Кварцевая мука	-	-	8,0	8,0
Σ	100	100	100	100

Таблица 2 – Рецептуры грунтовок

Наименование компонента	Массовая доля, %			
	грунтовка			
	белая	чёрная	желтая	красная
Сополимер акриловый	18,0	18,0	18,0	18,0
Органический растворитель (солювент + толуол нефтяной)	26,0	26,0	26,0	26,0
Пластификатор (три(октил/децил)-меллитат)	2,0	2,0	2,0	2,0
Функциональная добавка: смесь ортофосфата цинка и оксида цинка	14,0	14,0	14,0	14,0
Диспергатор	0,7	0,7	0,7	0,7
Смола эпоксидная	2,0	2,0	2,0	2,0
Микротальк	6,0	6,0	7,0	7,0
Диоксид титана рутильной формы	9,0	-	1,0	1,0
Пигмент чёрный железоксидный	-	7,0	-	-
Микроаморфный наполнитель (d=1,5 мкм)	7,1	9,1	11,1	11,1
Пигмент желтый свинцово-молибдатный	-	-	3,0	-
Пигмент красный свинцово-молибдатный	-	-	-	3,0
Сульфат бария	15,0	15,0	15,0	15,0
Глина монтмориллонитовая или бентонитовая	0,2	0,2	0,2	0,2
Σ	100	100	100	100

сформированного покрытия появляются различные дефекты (шагрен, проколы), которые приводят не только к ухудшению внешнего вида, но значительно снижают долговечность покрытия. Режим отверждения покрытий влияет на его защитные и физико-механические свойства. Толщина лакокрасочных покрытий для обеспечения противокоррозионной защиты должна быть достаточно большой, так как она влияет на скорость проникновения агрессивных агентов к поверхности металла. Поэтому при эксплуатации покрытий в условиях с различными параметрами агрессивности его толщина устанавливается в соответствии со степенью агрессивности среды. Вместе с тем существует мнение, что не всегда увеличение толщины покрытия может привести к повышению его противокоррозионных свойств. При значительной толщине в покрытии могут возникать внутренние напряжения, приводящие к его растрескиванию. Толщина покрытия должна гарантировать отсутствие капиллярной проницаемости, т.е. быть несколько больше критической толщины. Таким образом, высокую долговечность и хорошие физико-механические свойства лакокрасочных покрытий можно обеспечить при выборе оптимальных стадий технологических операций их получения с учетом правильного выбора лакокрасочного материала.

**Методика эксперимента.** Авторами разработаны рецептуры антикоррозионных красок и грунтовок различных цветов на основе акриловых сополимеров. Разработанная система «краска – грунтовка»

предназначена для защитно-декоративной окраски стальных поверхностей, подвергающихся атмосферному воздействию в зонах умеренного, умеренно-холодного и холодного климата.

Покрытие формируется при естественных условиях и обеспечивает эффективную барьерную защиту металла. Краска применяется в комплексе с грунтовкой в качестве окончательного покрытия. Грунтовка содержит наполнители и функциональные добавки, ингибирующие коррозионные процессы, обеспечивает хорошую межслойную адгезию. Перед нанесением системы «краска – грунтовка» требуется тщательная подготовка поверхности. Рецептуры разработанных красок и грунтовок приведены в таблицах 1 и 2.

В качестве пассивирующего агента в состав рецептуры грунтовки входит композиция, состоящая из ортофосфата цинка и оксида цинка.

Кроме того, и краски и грунтовка содержат инертные пигменты: диоксид титана рутильной формы, полученный сульфатным методом, и пигмент чёрный железоксидный, а также мелкодисперсные наполнители (микротальк и слюду) для повышения укрывистости и сплошности плёнки [5].

Основной компонент – плёнкообразующее (сополимер бутилакрилата и метилметакрилата) создаёт беспористую эластичную твёрдую плёнку лакокрасочного покрытия [3].

Технические характеристики акрилового сополимера приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики акрилового сополимера

Наименование показателя	Величина показателя
Температура стеклования $T_g$ , °C	65±2
Среднемассовая молекулярная масса Mw	60000±5000
Степень полидисперсности Mw / MN	1,7
Кислотное число 40%-го раствора в толуоле, мг КОН/г	6,4
Вязкость 40%-го раствора в толуоле по вискозиметру Брукфилда RV DV-II (шпиндель 2, скорость 60 об/мин, 25°C), мПа·с	400-450
Твердость высохшей плёнки на стекле по Кёнигу, абс.ед.	18

Краски и грунтовки были изготовлены на лабораторном диссольтвере. Исследования проводили стандартными методами [4]. Все показатели (за исключением укрывистости) определяли для неразбавленной краски и грунтовки. Для определения укрывистости краску разбавляли толуолом до условной вязкости 40–45 с по ВЗ-246 с соплом Ø 4 мм.

Время высыхания, массовую долю нелетучих веществ, укрывистость, коэффициент диффузного отражения, блеск и твердость определяли на стекле для фотографических пластинок размером (90x120x2)±1 мм. Стойкость к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия, бензина и индустриального масла, устойчивость покрытия к воздействию переменных температур определяли на пластинках из листовой холоднокатанной стали размером (150x150x2)±1 мм. Прочность покрытия при ударе и адгезию к стали определяли на пластинках из листовой холоднокатанной стали размером (90x120)±1 мм, толщиной 0,8-1,0 мм. Эластичность определяли на пластинках прямоугольной формы из алюминиевых листов или алюминиевых лент длиной 100-150 мм, шириной 20–50 мм, толщиной 0,25–0,32 мм.

Условную светостойкость покрытия определяли на чертёжной бумаге размером 100x200 мм. Сопротивление паропроницанию определяли на образцах-подложках из цементобетона диаметром (100±1) мм или имеющих форму квадрата со стороной (100±1) мм, толщиной (10±1) мм.

Для определения блеска, коэффициента диффузного отражения, адгезии, твёрдости краску и грунтовку наносили аппликатором в один слой на одну сторону пластинки. Для определения эластичности краску наносили кистью или аппликатором на одну сторону пластинки. Толщина сухого слоя составляла 60–80 мкм.

Для определения времени высыхания краску и грунтовку наносили в один слой на одну сторону пластинки. Толщина сухого слоя составляла 60–80 мкм.

Для определения стойкости к статическому воздействию воды, 3%-ного водного раствора хлорида натрия, бензина и индустриального масла систему «грунт-краска» (грунтовку в один слой, краску в один слой) наносили на обе стороны пластинки, а также на боковые грани.

Толщина сухого слоя грунтовки составила 60–90 мкм. Толщина высохшего покрытия системы «грунт-краска» – около 130–190 мкм. Для определения устойчивости покрытия к воздействию переменных температур систему «грунт-краска» (грунтовку в один слой, краску в один слой) наносили на обе стороны пластинки, а также на боковые грани.

Для определения условной светостойкости краску наносили в два слоя, общей толщиной сухого слоя 160–180 мкм.

Для определения прочности покрытия при ударе систему «грунт-краска» (грунтовку в один слой, краску в один слой) наносили на одну сторону пластинки. Толщина высохшего покрытия системы «грунт-краска» составила 160–180 мкм.

Для определения сопротивления паропроницанию систему «грунт-краска» (грунтовку в один слой, краску в один слой) наносили на одну сторону пластинки. Толщина высохшего покрытия системы «грунт-краска» составила 130–190 мкм [6].

Продолжительность сушки каждого слоя – 24 ч при температуре (20±2)°C. Для определения укрывистости краску наносили послойно. Толщина каждого сухого слоя составляла около 20 мкм. Первый и последующие слои сушили в течение 24 ч при температуре (20±2)°C.

Толщину высохшего покрытия краски и грунтовки, а также системы «грунт-краска» измеряли микрометром типа МК-25-1 с погрешностью (±3) мкм. Контроль остальных геометрических

параметров производили штангенциркулем. Количество образцов для испытания каждого показателя – не менее 5. Перед испытаниями образцы с покрытиями выдерживали согласно [4].

Для определения массовой доли нелетучих веществ навеску краски или грунтовки массой (2,0±0,2) г выдерживали в течение 3 ч в термощафу при температуре (105±2)°C, после чего взвешивали. Последующее взвешивание осуществляли через каждые 30 мин до достижения постоянной массы.

Укрывистость определяли по методу шахматной доски. После полного укрытия окрашенную стеклянную пластинку сушили в течение 24 ч при температуре (20±2)°C и взвешивали с точностью до 0,002 г. Для ускорения процесса иногда производили горячую сушку первого и последующих слоёв при температуре (105±2)°C в течение 1 ч.

Блеск и коэффициент диффузного отражения определяли прибором ФБ-2. Измерения производили согласно инструкции к прибору.

Прочность покрытия при ударе определяли по прибору типа У-1. Твёрдость определяли по маятниковому прибору ТМЛ (маятник А).

Адгезию в баллах определяли по методу решетчатых надрезов. Размер единичного квадрата решетки, обеспечиваемый режущим инструментом, составлял 2x2 мм при общей толщине покрытия 60±80 мкм.

Стойкость высушенного покрытия к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия, бензина и индустриального масла определяли согласно [4]. В эксикатор с дистиллированной водой или раствором хлорида натрия или бензином или индустриальным маслом на специальных подставках, изготовленных из химически стойкого материала, вертикально помещали образцы на 2/3 высоты или целиком. Расстояние между образцами и стенками эксикатора – не менее 10 мм.

После испытания покрытие выдерживали перед осмотром при температуре (20±2)°C в течение 30 мин. Образцы считались выдержавшими испытание, если не наблюдалось отслаивания покрытия от подложки, пожелтения, сморщивания, появления мелких и крупных пузырей.

Допускалось незначительное изменение цвета покрытия. Дефекты, обнаруженные на расстоянии менее 10 мм от края покрытия, не учитывались. Условную светостойкость определяли после облучения образцов ртутно-кварцевой лампой типа ПРК-2 в течение 24 часов [6].

Основные показатели оптимизированных рецептур красок и грунтовок приведены в таблице 4.

**Заключение.** Разработанная система покрытия «грунт-краска» устойчива к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия, бензина и индустриального масла при (20±2)°C более 72 ч, а также к действию переменных температур. Условная светостойкость составляет 0,8-1,2%, что гораздо ниже существующих норм для белых антикоррозионных красок, применяемых для наружных работ (не более 5%). Разумный баланс прочности покрытия при ударе (25 см), твёрдости по маятниковому прибору (0,2 отн.ед.) и эластичности при изгибе (8-10 мм) свидетельствует о сбалансированности рецептуры краски.

Удельное объёмное электрическое сопротивление системы «грунт-краска», определённое кулонометрическим методом [4], находится в пределах 0,8 – 1,5 x 10<sup>10</sup> Ом·см = 0,8 – 1,5 x 10<sup>8</sup> Ом·м. Это соответствует эксплуатации в условиях умеренного климата в течение 8–10 лет [6].

Защитно-декоративное покрытие может эксплуатироваться на границе вода-воздух. Крайне важно, что состав сохраняет адгезионную прочность в условиях повышенной влажности. Кроме того, материалы (краска и грунтовка) являются однокомпонентными, требуют минимального разбавления и наносятся минимальным количеством слоёв. При механическом повреждении лакокрасочного покрытия грунтовоочный слой позволяет исключить или свести к минимуму распространение подслоевой коррозии.

Отмечены и высокие малярные характеристики составов (краски и грунтовки): они одинаково легко наносились на опытные участки металлических строительных конструкций и безвоздушным распылением, и кистью.

Таким образом, разработанная акриловая система «грунт-краска» рекомендуется к использованию в качестве антикоррозионной защиты стальных строительных конструкций, применяемых в водохозяйственном строительстве.

Таблица 4 – Основные показатели красок и грунтовок

Наименование показателя	Величина показателя	
	краска	грунтовка
Условная вязкость по ВЗ-246 (d= 4 мм) при (20±0,5)°С, с	40–160	40–160
Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	30	30
Время высыхания до степени 3 при (20±2)°С, ч, не более	24	24
Плотность, г/см <sup>3</sup> , не менее	1,3	1,2
Укрывистость высушенного покрытия, г/м <sup>2</sup> , не более	100	-
Блеск, %, не менее	10	-
Коэффициент диффузного отражения (белизна) покрытия для белого цвета, %	76–78	
Степень перетира, мкм	15–20	15–20
Прочность покрытия («грунт-краска») при ударе по прибору типа У-1, см, не менее	25	
Твердость покрытия по маятниковому прибору ТМЛ (маятник А), отн. ед., не менее	0,2	
Эластичность покрытия при изгибе, мм	8–10	8–10
Адгезия к стали, баллы, не более	1	1
Стойкость высушенного покрытия (система «грунт-краска») к статическому воздействию воды при температуре (20±2)°С, ч	48	
Стойкость высушенного покрытия (система «грунт-краска») к статическому воздействию 3%-го водного раствора хлорида натрия при температуре (20±2)°С, ч	48	
Стойкость высушенного покрытия (система «грунт-краска») к статическому воздействию бензина и индустриального масла при температуре (20±2)°С, ч	48	
Устойчивость покрытия (система «грунт-краска») к воздействию переменных температур, циклов	20	
Условная светостойкость покрытия (изменение коэффициента диффузного отражения), %	0,8–1,2	
Сопrotивление паропроницанию (система «грунт-краска») покрытия, м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг	2,0–2,4	

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
- Стойе, Д. Краски, покрытия и растворители / Д. Стойе, В. Фрейтаг; пер. с англ. под ред. Э. Ф. Ицко. – СПб.: Профессия, 2007. – 528 с.
- Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1981. -352 с.
- Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
- Тур, Э.А. Акриловое покрытие для антикоррозионной защиты стальных конструкций / Э.А. Тур, В.А. Халецкий, Е.К. Антонюк // Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий : материалы докладов Республиканского научно-технического семинара, Минск, 6–7 декабря 2011 г. / БГТУ; под ред. И.М. Жарского [и др.]. – Минск: БГТУ, 2011. – С. 142–145.
- Тур, Э.А. Антикоррозионная защита стальных конструкций предприятий машиностроения акриловыми материалами / Э.А. Тур, Н.М. Голуб // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 106–108.

Материал поступил в редакцию 20.02.2018

**TUR E.A., BASOV S.V. Corrosion protection of building constructions, used in water-management construction**

Specific types of corrosion of metals are characteristic for hydraulic structures and structures of water management construction. The authors have developed a formulation of anticorrosive paints and primers in various colors based on acrylic copolymers. The developed system "paint-primer" is designed for protective and decorative painting of steel surfaces exposed to atmospheric effects in areas of moderate, moderately cold and cold climates. As a passivating agent, the composition of the primer formulation includes a composition consisting of zinc orthophosphate and zinc oxide. The main component is a film-forming (copolymer of butyl acrylate and methyl methacrylate) creates a non-porous elastic solid paint film. Protective and decorative coating can be used on the border of water-air, retains adhesive strength in conditions of high humidity.

УДК 628.32: 54

**Левчук Н. В., Новосельцева А. Г.**

**УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ МЕТОДОМ ИЗВЕСТКОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ ОСАДКОВ В ГИДРОЦИКЛОНАХ**

**Введение.** На предприятиях пищевой промышленности при обработке сырья в составе сточных вод содержится избыточное количество фосфорсодержащих веществ, значительно превышающих нормативные показатели. В частности, на предприятии ОАО «Белсолод» при производстве солода в результате замачивания и промывки зерна образуются периодические залповые сбросы с концентрациями, превышающими установленные нормативы, для фосфатов более 11,7 мг/дм<sup>3</sup> в разбавленном стоке и содержанием взвешенных веществ более 450 мг/дм<sup>3</sup>. В результате исследований

было установлено, что содержание фосфатов в воде после первичного замачивания достигает 60 мг/л.

Для перевода фосфат-ионов в состояние труднорастворимых веществ сточные воды обрабатываются различными реагентами и в результате создаются условия для прохождения необходимых химических реакций. В процессе таких реакций при гидролизе могут образовываться средние, кислые соли, а так же комплексные соединения различного содержания.

Кроме того, одним из способов удаления фосфатов является коа-

*Левчук Наталья Владимировна, к. т. н., доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Новосельцева Анна Геннадьевна, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*