



ВЕСТНИК

Брестского государственного технического университета

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Научно-теоретический журнал

Издается с января 2000 г.

Периодичность - 6 раз в год.

4(100)'2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПАРФИЕВИЧ А.Н., ДРАГАН А.В., БЕЗОБРАЗОВ С.В. Акустическая диагностика многоскоростных зубчатых приводов на основе использования искусственных нейронных сетей..... **2**

ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., САЗОНОВ М.И., ХВИСЕВИЧ В.М. Комплексное исследование полей температур по глубине упрочняемой детали при воздействии движущейся плазменной струи..... **6**

КУЗНЕЦОВА В.В., АНИКЕЕВА М.В., ВРУБЛЕВСКАЯ В.И. Износостойкие самосмазывающиеся подшипники скольжения из природного композита..... **9**

БИРЮК В.В., БЛАГИН Е.В., ЕЛИСЕЕВ Ю.С., КИРСАНОВ Ю.Г., ЛУКАЧЕВ С.В., ШИМАНОВ А.А., НОВИКОВ А.В. Исследование влияния степени вакуумирования внутренней полости испарителя-конденсатора на энергоэффективность вакуумно-дистилляционной установки..... **14**

БИРЮК В.В., БЛАГИН Е.В., ГОРШКАЛЕВ А.А., ЛУКАЧЕВ С.В., НИЧКОВА Л.А., СИГОРА Г.А., ХОМЕНКО Т.Ю., ШИМАНОВ А.А. Анализ методов и принципов работы установок для опреснения морской воды в Крымском регионе..... **18**

БИРЮК В.В., ГОРШКАЛЕВ А.А., ДАНИЛИН А.И., ДАНИЛИН С.А., ЛУКАЧЕВ С.В. Критерии выбора систем контроля и управления вакуумно-опреснительной установкой..... **22**

АКСЕНОВА Д.К., БЛАГИН Е.В., БУРДИНА Я., НОВИКОВ А.В., СОГОНОВА А.О., УГЛАНОВ Д.А. Оценка энергетической емкости источников низкопотенциального тепла криопродуктов..... **25**

АКСЕНОВА Д.К., БУРДИНА Я., НОВИКОВ А.В., СОГОНОВА А.О., УГЛАНОВ Д.А. Снижение потери криопродукта при его хранении в резервуарах за счет использования низкопотенциальных энергетических машин..... **28**

ШТЕПА В.Н., ПРОКОПЕНЯ О.Н., КОТ Р.Е., МОРГОЛЬ А.В., ЗАЕЦ Н.А. Особенности проектирования оборудования и систем управления очисткой производственных сточных вод предприятий легкой промышленности..... **34**

ЛОВЕЙКИН В.С., ПОЧКА К.И. Синтез кулачкового приводного механизма роликовой формовочной установки с оптимальным режимом движения по ускорению третьего порядка..... **37**

ЧЕПРАСОВА В.И., ЗАЛЫГИНА О.С. Исследование возможности получения пигментов из отработанных электролитов меднения и никелирования..... **40**

ОНЫСЬКО С.Р., ХВИСЕВИЧ В.М., ЧЕКАН Н.М., АКУЛА И.П., ПУШКАРЕВ А.В. Напряжения в износостойких покрытиях карбонитрида циркония..... **44**

САНЮКЕВИЧ Ф.М., МОНТИК С.В. Допускаемые напряжения при расчете зубчатых передач..... **48**

ВЛАШЕВИЧ В.В., ОСТРИКОВ О.М. Метод численно-аналитического расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» при поперечном сдвиге..... **50**

РОМАНОВСКИЙ В.И., ЖИЛИНСКИЙ В.В., БЕССОНОВА Ю.Н. Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом..... **54**

Штепа В.Н., Прокопеня О.Н., Кот Р.Е., Морголь А.В., Заец Н.А.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Введение. Количество сточных вод, отводимых от предприятий лёгкой промышленности, зависит от мощности и характера технологических процессов [1]. При этом сточные воды включают в себя: очищенные производственные и бытовые; производственные, не подлежащие очистке; фильтрационные из прудов-накопителей; из шламонакопителей. Указанные составляющие весьма значительны, а их соотношение в различных отраслях лёгкой промышленности может изменяться в широких пределах. Например, количество сточных вод на одну тонну готовой продукции составляет: для хлопчатобумажных комбинатов бельевых и плательных тканей – 240–270 м³; для хлопчатобумажных комбинатов одежных и технических тканей – 230–270 м³; для прядильно-ткацкой и отделочной фабрик ворсоразрезных тканей – 365–410 м³; для прядильно-ниточной фабрики с крашением и мерсеризацией пряжи и ниток – 250–280 м³; для производств гигроскопической ваты – 60–130 м³; для производств иглопробивных нетканых материалов – 60–110 м³; для меланжевых комбинатов – 200–250 м³ [1].

Главную опасность для окружающей среды представляют собой производственные сточные воды, содержащие большое количество вредных веществ. Например, при обработке одной тонны тканей в сточные воды попадает 200–350 кг загрязнений, в том числе: естественных примесей хлопка и химических компонентов, замасливателей и шлихты – 70–90 кг; минеральных веществ (силикат, бисульфит, сульфид, гидроксид натрия, бикарбонат, серная кислота) – 76–101 кг; органических компонентов – 20–30 кг; поверхностно-активных веществ (ПАВ) – 10–15 кг; отделочных препаратов – 7,1–9,3 кг; красителей – 3,7–4,9 кг [1, 5].

Актуальность исследований, направленных на создание методов и технических средств качественной и эффективной очистки сточных вод предприятий лёгкой промышленности, с возможностью её повторного использования в технологических процессах, подтверждается проектом программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы, которая предусматривает снижение выброса загрязняющих веществ в водные объекты, повышение эффективности использования природных ресурсов, максимальное вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья со снижением негативного воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду.

Постановка задачи. Согласно оценке состава сточных вод предприятий лёгкой промышленности [1, 5] ключевые загрязняющие компоненты можно разделить на следующие типы: грубодисперсные (включая органические), коллоидные растворы (включая органические), тяжёлые металлы и их ионы, сульфаты и хлориды, ПАВ.

Отдельно, в ряде случаев, необходима рН-коррекция (нейтрализация), причём на одном и том же предприятии могут быть как силь-

нокислые, так и сильнощелочные стоки (в зависимости от технологии). Следовательно, производственные сточные воды предприятий лёгкой промышленности представляют собой многокомпонентные (с загрязнителями органической и неорганической природы) водные растворы с широким диапазоном значений рН, что требует комплексного использования различных методов очистки. При этом имеют место постоянные колебания объёмов сброса и содержания загрязнителей в зависимости от загруженности технологических линий, вида выпускаемой продукции и других факторов [3, 6, 7].

Усложняет ситуацию качественной водоочистки и систематическое влияние внештатных ситуаций, под которыми понимается широкий спектр непредвиденных событий, выходящих количественно-качественных показатели загрязнённости сточных вод за рамки диапазона математического ожидания, определённого в результате обработки статистических данных.

Поэтому, комплекс технических средств очистки сточных вод предприятий лёгкой промышленности должен обеспечивать:

доведение до допустимого уровня концентрации всего многокомпонентного перечня загрязнителей (органической и неорганической природы), обеспечивая возможность повторного использования очищенной воды в производственных процессах;

надёжное обеспечение заданного качества очистки в условиях нестационарности и неопределённости изменения содержания загрязнителей и объёмов сбросов, которое является нелинейным.

Для выполнения указанных задач очистительный комплекс должен обладать высокой гибкостью и адаптируемостью к изменению видов загрязнителей и их количественному содержанию. Это может быть обеспечено только за счет широкого применения средств автоматизации и системы управления, использующей современные интеллектуальные алгоритмы. Данная работа направлена на создание такой системы.

Материалы и методика исследований.

С учётом недостатков аналогов был разработан комплекс технических средств, предназначенный для очистки промышленных водосточков [2, 3, 6] с поликомпонентными загрязнителями, что соответствует задачам на предприятиях лёгкой промышленности. Принцип действия оборудования (патент Республики Беларусь № 10981 «Система водоподготовки и водоочистки») основан на проточной переработке рабочей среды в жидкой и газообразной фазе в замкнутом байпасном рециркуляционном контуре.

В базовом исполнении сточные воды (см. рис. 1) подаются в приёмную ёмкость для усреднения и стабилизации гидродинамических характеристик (на рис. 1 ёмкость не показана), откуда поступают в электролитическую ванну (диафрагменный вариант исполнения) в анодную и катодную зоны, где происходит анодное выделение реагента и рН-коррекция (последнее, при необходимости).

Прокопеня Олег Николаевич, к.т.н., зав. кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета.

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

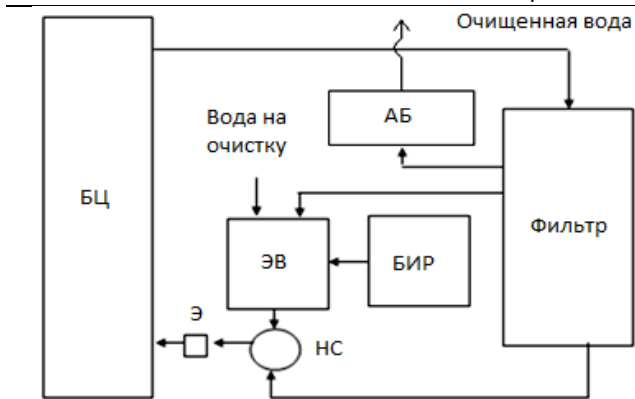
Штепа Владимир Николаевич, к.т.н., руководитель НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.

Кот Роман Евгеньевич, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.

Морголь Александр Владимирович, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии» Полесского государственного университета.

Беларусь, 225710, г. Пинск, ул. Днепровской Флотилии, 23.

Заец Наталья Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры автоматизации и роботехнических систем Национального университета биоресурсов Украины.



а)



б)

а – структурная схема, б – внешний вид оборудования

БЦ – блок электрогидроциклонов, Э – эжектор, ЭВ – электролитическая ванна; НС – насос; БИР – блок интенсификации реакций; АБ – анаэробный блок

Рисунок 1 – Технические средства очистки многокомпонентных сточных вод промышленных объектов

Насос замкнутого байпасного контура обеспечивает подачу водного раствора на батарею электрогидроциклонов, где происходит, согласно значениям гидравлической крупности, направление потоков на саморегенерирующийся фильтр и обратно на электролитическую ванну. Особенностью электрогидроциклонов является то, что они имеют электродную систему (в качестве анода используется графит). Саморегенерирующийся с плавающей засыпкой фильтр задерживает загрязнители, а водный раствор заданного качества подается на анаэробный блок.

Периодически или в зависимости от накопления загрязнителей фильтр промывается в автоматическом режиме, полученный фильтрат подается на пресс-фильтр (на рис. 1 не показан). Функциональные задачи эжектора и блока интенсификации процессов, который включает ультразвуковой и электромагнитный излучатели – ускорить кинетику электрохимических реакций.

Анализируя результаты производственных испытаний [2, 3, 7] и данные по водосбросу предприятий легкой промышленности [1], можно сделать вывод, что для решения поставленной задачи необходимо построение адаптивной системы управления водоочисткой многокомпонентных стоков, которая способна в процессе работы менять не только свои настройки, но и структуру – самоорганизовываться. Причём выполнять это необходимо максимально оперативно в условиях неполноты и размытости входной информации и возможных резких изменений входных показателей в результате действия внештатных ситуаций. Эффективность работы указанной системы

может быть обеспечена за счет использования алгоритмов на основе интеллектуальных технологий.

С учётом разности природы загрязнителей (органической и неорганической) и необходимости объединения в одной системе разных способов, агрегатов и машин вводится понятие динамического доминирующего загрязнителя (ДДЗ).

Алгоритм работы технического комплекса на основе патента Республики Беларусь № 10981 «Система водоподготовки и водоочистки», который построен с учетом различной природы загрязнителей (органической и неорганической) и необходимости объединения в одной системе разных способов, агрегатов и машин, базируется на понятии «динамический доминирующий загрязнитель» (ДДЗ) и предполагает:

- максимальное уменьшение условий появления, распространения и последующего влияния главного опасного загрязнителя, выявляемого по предварительным исследованиям технологии и качества воды в условиях производства;
- поэтапное рециркуляционное устранение ДДЗ воды до предельно-допустимых концентраций (ПДК);
- переход к удалению следующего по важности загрязнителя, если он не был удален или нейтрализован в комплексе с предыдущими.

Сложность заключается в том, что для разных производств в качестве ДДЗ будут выступать разные загрязнители, более того, в процессе работы одного и того же предприятия за фиксированный промежуток времени, в зависимости от выпускаемой продукции, поломки и других ситуаций, возможно изменение одного ДДЗ на другой. Это делает невозможным определение ДДЗ заранее при построении системы управления. Она должна обладать способностью определения ДДЗ непосредственно в процессе работы.

Для определения ДДЗ в режиме реального времени был опробован генетический алгоритм согласно процедуре:

1. Подобрать представления оптимизационных параметров в виде определенного формата данных: строки, вектора, таблицы, массива.
2. Выбрать из набора генетических операторов такие, которые наилучшим образом учитывают особенности поискового пространства.
3. Определить размер начальной популяции.
4. Установить методику использования генетических операторов.
5. Задать функцию приспособленности (целевую функцию, по которой проводится отбор вариантов в популяцию).
6. Разработать методику отбора вариантов в новую популяцию.
7. Задать критерий остановки эволюционного процесса.

Приспособления хромосом в популяции определяются с помощью функции приспособленности (фитнес-функции) для каждой хромосомы этой популяции [4]. В нашем случае эту оценку выполняют с помощью функции принадлежности, которая определяет разницу рассчитанного и реального значений при одинаковом входном воздействии и представляет числовое значение функции, рассчитанное для решения задачи $x \in D - \varepsilon(H_r^t) = (Yp - Y)^2$, причем, чем меньше значение функции приспособленности, тем лучше качество хромосомы. Фитнес функция всегда принимает определенное значение, и для решения оптимизационной задачи нужно минимизировать эту функцию.

Совокупность особей (H_1^t, \dots, H_r^t) образует популяцию P^t , где r – численность популяции, а $t = 0, 1, \dots, T$ – жизненный цикл популяции (T – определяет период эволюции). Цель эволюции популяции заключается в росте среднего значения функции принадлежности популяции в целом:

$$Fit_{CP}(t) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^r Fit_i \quad (1)$$

На основе результатов производственных испытаний [6] была сформирована база знаний ДДЗ при разных комбинациях входных параметров. В программном продукте Statistica проведено имитационное моделирование определения доминирующего загрязнителя. Зна-

чения входных параметров (рН, содержание азота аммонийного, хлоридов, взвешенных веществ) изменялись случайным образом, с учётом возможности двукратного превышения статистических данных, что может соответствовать внештатным ситуациям. Перечень параметров был выбран исходя из специфики работы технических средств (рис. 1). Доведение в данном оборудовании азота аммонийного до нормативных требований автоматически нормализует показания фосфора, взвешенных веществ – сухого остатка. Сравнение результатов имитационного моделирования и экспертно-экспериментальной оценки подтверждают эффективность данного алгоритма (рис. 2).

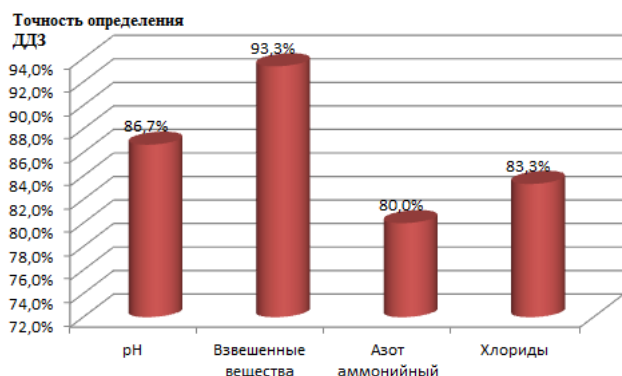


Рисунок 2 – Точность оценки динамического доминирующего загрязнителя с использованием генетического алгоритма

Архитектура системы управления оборудованием водоочистки, содержащей блок определения ДДЗ на основе генетического алгоритма, имеет следующий вид (рис. 3).

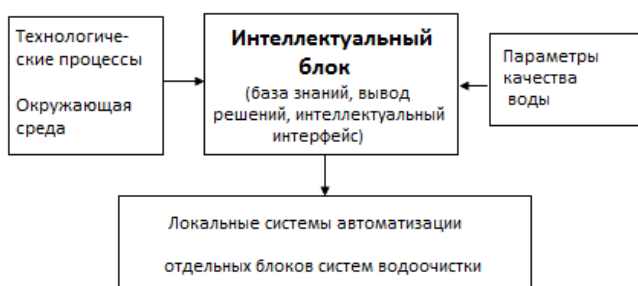


Рисунок 3 – Архитектура системы управления оборудованием водоочистки сточных вод с интеллектуальным блоком

В данной системе интеллектуальный блок используется для настройки локальных подсистем управления блоками, реализующими разные способы очистки стоков от отдельных составляющих. Данные подсистемы строятся на основе нейросетевых и когнитивных технологий [7–10].

Апробация системы управления проходила на формальдегидсодержащих сточных водах предприятия деревопереработки (рис. 4). Такие стоки образуются, главным образом, при производстве продуктов конденсации фенола, мочевины или меламин с формальдегидом. Они весьма опасны, поскольку, попав вместе с водой в организм человека формальдегид, крайне отрицательно влияет на репродуктивные функции и поражает центральную нервную систему.

Полученные результаты подтвердили эффективность предложенной системы управления очистным оборудованием. Эффект очистки является весьма значительным и обеспечивается по всем составляющим (по формальдегидам до 73%). Это даёт возможность, реализовав повторное прохождение стоков через установку, снизить содержание загрязнителей до уровня ПДК.

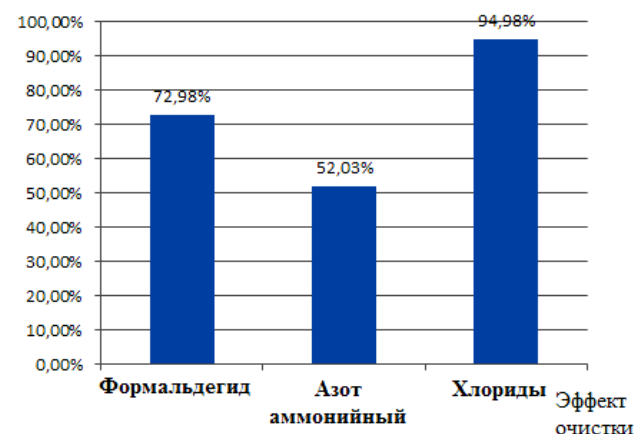
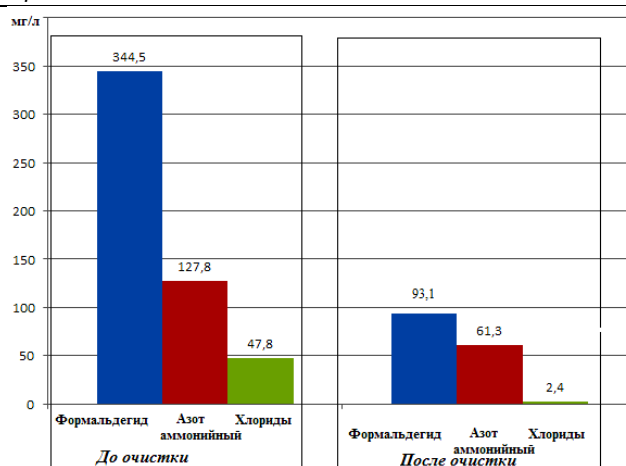


Рисунок 4 – Результаты очистки формальдегидсодержащих сточных вод в комбинированной установке с интеллектуальным блоком управления

Заключение. Предложенный метод адаптивного управления процессом очистки сточных вод, основывающийся на понятии динамического доминирующего загрязнителя, показал свою эффективность и может быть применен на практике. Значение ДДЗ может определяться в реальном времени с помощью генетического алгоритма с достаточной для практического применения точностью. Промышленные испытания системы, реализующей данный метод и алгоритм для управления комплексом очистного оборудования, показали, что она способна гарантированно снижать содержание всех типов загрязнителей до уровня ПДК за ограниченное число циклов очистки. Система способна обеспечить требуемое качество очистки в условиях предприятий легкой промышленности с возможностью возникновения нештатных ситуаций, когда количественный состав загрязнителей может быстро изменяться в широких пределах, и ее можно рекомендовать к практическому применению.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ефимов, А.Я. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности / А.Я. Ефимов, И.М. Таварткиладзе, Л.И. Ткаченко. – К.: Техника, 1985. – 159 с.
- Гончаров, Ф.І. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрії / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2012. – Вип. 16 (30). – Книга 2. – С. 97–104.
- Гончаров, Ф.І. Експериментальні дослідження електродіодних процесів у водних розчинах із миючими засобами / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа, А.П. Левчук, Р.Є. Кот, С.В. Гондарук // Енергетика і автоматика [Електронний ресурс]. – 2012 – № 1(11). – Режим доступа: [file:///C:/Users/Shtepa/Downloads/eia_2013_4_4%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Shtepa/Downloads/eia_2013_4_4%20(1).pdf). – Дата доступа: 10.09.2015.

4. Заєць, Н.А. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці / Н.А. Заєць, В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – Частина 4. – С. 157–164.
5. Трунова, Н.А. Очистка сточных вод и их повторное использование хлопчатобумажной промышленности: диссертация / Н.А. Трунова. – М.: МИСИ, 1984. – 48 с.
6. Штепа, В.М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В.М. Штепа // Энергетика і автоматика [Электронный ресурс]. – 2012 № 1(11). – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf. – Дата доступа: 10.09.2015.
7. Штепа, В.Н. Нейросетевой блок поддержки адаптивного управления комбинированными системами водоочистки / В.Н. Штепа // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого: научно-практ. журнал. – 2015. – № 4. – С. 37–43.
8. Штепа, В.Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки / В.Н. Штепа // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал. – 2016. – № 5. – С. 479–487. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.bntu.by/jour/article/view/1032>, свободный. – Дата обращения: 6.10.2016.
9. Штепа, В.Н. Повышение качества водоочистки средствами автоматизации в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения / В.Н. Штепа, О.Н. Прокопеня, Р.Е. Кот // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геозология: научно-теоретический журнал. – 2016. – № 2 (98) – С. 61–64. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bstu.by/uploads/vestnik/16-2.pdf>, свободный. – Дата обращения: 06.10.2016.
10. Микропроцессорная система дозирования реагентов на основе нечёткой логики / В.Н. Штепа, О.Н. Прокопеня, Р.Е. Кот, В.М. Пуха // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (94): Серия: Машиностроение: научно-теоретич. журнал. – С. 61–64.

Матеріал поступив в редакцію 05.12.2016

SHTEPA V.N., PROKOPENYA O.N., KOT R.Y., MORGOL A.V., ZAYETS N.A. Specialities of design of equipment and control systems for industrial wastewater treatment in enterprises of the light industry

The paper evaluated the light industry enterprises in terms of the use of water resources for the production and the spillway and analyzed multicomponent composition of wastewater. The problem of effective water treatment, taking into account worst-case situations, blurring the input information, nonlinear and nonstationary changes in process parameters is substantiated. Production test appreciated the opportunity to use the equipment with the implemented internal bypass circuit and a combination of mechanical, biological and physico-chemical methods for removing contaminants. It justifies the use of the concept of the dynamic dominant pollutant (DDP) to optimize hardware and components; an adaptive estimator DDP based on genetic algorithm is synthesized and tested. The basic architecture of sewage treatment hardware for light industry enterprises with the ability to re-use wastewater for industrial purposes, and taking into account the possibility of action of emergency situations, is submitted.