



# ВЕСТНИК

Брестского государственного технического университета

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научно-теоретический журнал  
Издается с января 2000 г.  
Периодичность - 6 раз в год

2(98)'2016

## СОДЕРЖАНИЕ

- ВОЛЧЕК А.А., ДАШКЕВИЧ Д.Н., ВАЛУЕВ В.Е., МЕШИК О.П.** Структурные элементы тепловлагоресурсов речных водосборов ..... 3
- ВОЛЧЕК А.А., ЗУБРИЦКАЯ Т.Е.** Проблемы водопотребления в Беларуси ..... 7
- КОЛОБАЕВ А.Н., ФАМ НГОК КИЕН** Обоснование состава и основных параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек Беларуси и Вьетнама ..... 11
- ЛЕВКЕВИЧ В.Е.** Устойчивость частиц наносов при формировании профиля равновесия абразионного берега ..... 14
- ЛЕВКЕВИЧ В.Е.** Основы динамической устойчивости берегов водохранилищ Беларуси ..... 19
- ПЕНЬКОВСКАЯ А.М., ПОПОВА Е.Н., БУЛАК И.А.** Влияние гидроморфологических изменений в речной сети на экологический статус водных объектов бассейна реки Западный Буг ..... 24
- ГЛУШКО К.А., ВОЛЧЕК А.А., МОРОЗ М.Ф.** Новые конструкции грунтозаборных устройств для проведения почвенных изысканий ..... 29
- ЕЛИСАВЕНКО Ю.А.** Оценка состояния защитных лесных насаждений Винницкой области на землях мелиоративного фонда ..... 32
- МАЖАЙСКИЙ Ю.А., ГУСЕВА Т.М.** Комплекс мелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия загрязненных и деградированных почв ..... 36
- МАЖАЙСКИЙ Ю.А., ТОМИН Ю.А., ИКРОМОВ И.И., ФИРДАВС И.** Анализ состояния мелиорируемых земель Мещерской низменности в пределах Рязанской области ..... 38
- ПОПОВ В.Н., ТАРГОНИЙ Н.Н.** Обоснование энергоэффективного управления водоподачей на закрытых оросительных системах ... 40
- РОКОЧИНСКИЙ А.Н., КОПТЮК Р.Н., ВОЛК П.П., МЕШИК О.П., ВАСИЛЬЕВ С.В.** Повышение эффективности работы дренажа и обоснование его параметров при глубоком рыхлении почвы ..... 44
- СТЕЛЬМАШУК С.С., ВОДЧИЦ Н.Н., ГРОМИК Н.В.** Результаты реализации Государственной программы сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы по Брестской области и мероприятия по повышению продуктивности земель ..... 47
- БЕЛОВ С.Г., НАУМЧИК Г.О., БЕЛОВ В.С.** Необходимость корректировки величины рН сточных вод перед выпуском, очищенных методом озонирования ..... 50
- БЕЛОВ С.Г., НАУМЧИК Г.О.** Исследование деструкции нитрозамещенных органических веществ в водных растворах при озонировании ..... 54
- ВОЛКОВА Г.А., СТОРОЖУК Н.Ю.** Технология биохимической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности ..... 58
- ЖИТЕНЕВ Б.Н., АНДРЕЮК С.В.** Снижение массовой концентрации нитратов в воде шахтных колодцев для водоснабжения ..... 62
- ЖИТЕНЕВ Б.Н., СУК Е.В.** Удаление железоорганических комплексов из воды поверхностных источников для водоснабжения ..... 65
- ЖИТЕНЕВ Б.Н., ТАРАТЕНКОВА М.А.** Обесцвечивание поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием для производственного водоснабжения ..... 67
- ИВАШЕЧКИН В.В.** Гидродинамическая регенерация водозаборных скважин с затрубными системами промывки ..... 70
- КОМАРОВСКИЙ Д.П., МОНЯК Т.М.** Применение алюмосодержащих коагулянтов для обработки воды реки Западная Двина ..... 74
- РОДЕНКО А.В.** Применение полимерного носителя биомассы на сооружениях биологической очистки сточных вод ..... 77
- РОМАНОВСКИЙ В.И., ЛИХАВИЦКИЙ В.В., КЛЕБЕКО П.А., КУЛИЧИК Д.М.** Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов ..... 80
- ЧЕПРАСОВА В.И., ЗАЛЫГИНА О.С.** Исследование возможности получения пигментов из отработанных электролитов меди и никелирования ..... 83
- ШТЕПА В.Н., ПРОКОПЕНЯ О.Н., КОТ Р.Е.** Повышение качества водоочистки средствами автоматизации в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения ..... 87
- ЯЛОВАЯ Н.П., КОРНЕЙЧИК А.Н.** Разработка эффективной системы водоотведения поверхностного стока г. Бреста ..... 91

- СЕВЕРЯНИН В.С., НОВОСЕЛЬЦЕВА Д.В.** Применение установок со слоевым пульсирующим горением для обезвреживания «дурнопахнущих» веществ газообразных выбросов..... **95**
- НОВОСЕЛЬЦЕВ В.Г., НОВОСЕЛЬЦЕВА Д.В., ЧЕРНИКОВ И.А.** Исследование работы систем отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов Брестской области ..... **98**
- ЧЕРНИКОВ И.А.** Использование пульсирующего горения в тепло-техническом оборудовании..... **102**
- БОСАК В.Н., БАСОВ С.В., ТУР Э.А., ПРИЛУЦКАЯ О.Е.** Анализ состояния территорий крутосклонов Гомельского дворцово-паркового ансамбля, подверженных водно-эрозийным процессам ..... **105**
- ЖИТЕНЁВ Б.Н., РЫБАК Е.С.** Исследование кинетики образования биогаза из отходов лесного хозяйства..... **108**
- ТУР Э.А., БАСОВ С.В.** Экологичные термопластичные материалы с низкой эмиссией летучих органических соединений как способ сохранения среды обитания..... **110**
- ТУР Э.А., АНТОНЮК Е.К.** Защита конструкционной древесины, используемой в водохозяйственном строительстве, с помощью экологичных лессирующих покрытий..... **113**
- ТУР В.В., ШАЛОБИТА Т.П., ШАЛОБИТА Н.Н.** Экологические и гигиенические аспекты использования эффективных теплоизоляционных строительных материалов..... **115**
- ЛЕВЧУК Н.В., НОВОСЕЛЬЦЕВА А.Г.** Использование электрохимических процессов для получения гидротехнических бетонов и анализа их качества..... **120**
- ЯЛОВАЯ Н.П., КОРНЕЙЧИК А.Н.** Применение локальных очистных сооружений проточного типа для очистки поверхностного стока г. Бреста..... **123**
- РОМАНОВСКИЙ В.И., ЖИЛИНСКИЙ В.В., БЕССОНОВА Ю.Н.** Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом.. **126**
- SERGIYUK I.M.** Basic principles and factors of location of military garrisons in towns of Volyn in the second half of the 19<sup>th</sup> century..... **129**
- БОНДАР А.Е., ШЕВЧУК С.А.** Количественные изменения нормы речного стока реки Псел под влиянием хозяйственной деятельности и изменений климата для водохозяйственного проектирования **131**
- ЧЕРНОИВАН В.Н., ЧЕРНОИВАН Н.В., НОВОСЕЛЬЦЕВ В.Г., ЧЕРНОИВАН А.В.** К вопросу проектирования тепловой изоляции кирпичных стен жилых зданий..... **134**
- BAUBLYS R., DUMBRAUSKAS A., GEGUŽIS R.** The research of rivers restoration in Lithuania ..... **137**
- БУХАЛЬСКАЯ Т.В., ПАНАСЮК И.В.** Логистика землеустройства природоохранных мероприятий охранной зоны национального природного парка «Дерманско-Острожский»..... **140**
- ЛЫСЕНКО В.Ф., ОПРЫШКО А.А., КОМАРЧУК Д.С., ПАСИЧНИК Н.А.** Оперативное дистанционное зондирование посевов как инструмент для программирования урожая..... **144**

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДООЧИСТКИ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**Введение.** Согласно данным “Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 года” услуги по водоснабжению и водоотведению оказывают 1460 организаций. В системе жилищно-коммунального хозяйства действуют 384 станции обезжелезивания, 788 водопроводных насосных станций, 2450 канализационных насосных станций, 1250 очистных сооружений канализации, протяженность водоводов и водопроводной сети составляет 31,1 тыс. километров.

Важной проблемой является обеззараживание питьевых вод. Широко применяемый в настоящее время метод хлорирования небезопасен с точки зрения здоровья населения. В области водоподготовки при централизованном водоснабжении и оптимизации средств и методов водоснабжения в целом по стране и административным областям намечается поэтапный перевод процесса хлорирования питьевых вод на современные методы обеззараживания – гипохлорирование [1–3]. В целом данные методы обеспечивают

приемлемое качество питьевой воды при эксплуатации системы в штатном режиме.

В режиме действия чрезвычайных ситуаций природного происхождения (ЧСПП) дополнительно возникает ряд факторов, которые существенно ухудшают санитарно-гигиеническое и экологическое состояние окружающей среды, что оказывает негативное влияние на работу системы водоснабжения и качество водоподготовки.

Характер воздействия и негативные последствия от ЧСПП можно разделить на медико-эпидемиологические, гидрометеорологические и пожарные [4, 5]. Согласно статистическим данным [4, 5], эпидемии возникают относительно редко, но приводят к наибольшему количеству несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом, т.е. преобладающим по опасности является медико-эпидемиологическое влияние ЧСПП (рис. 1). Поскольку основным источником распространения инфекции является питьевая вода, можно сделать

---

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

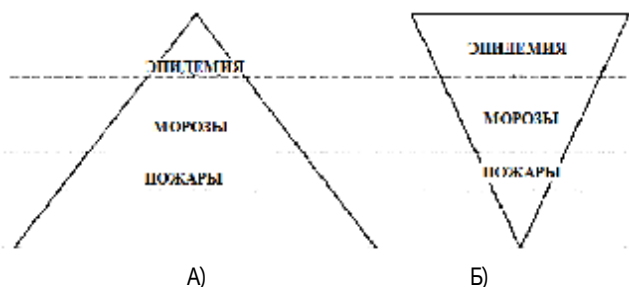
*Кот Роман Евгеньевич, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.*

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

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

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

вывод, что существующая система водоподготовки не обеспечивает ее достаточное обеззараживание в условиях ЧСПП.



А) – пирамида количественного проявления воздействий ЧСПП; Б) – пирамида влияния воздействий ЧСПП на жизнь и здоровье людей  
**Рисунок 1** – Характеристика последствий чрезвычайных ситуаций

**Постановка задачи.** На основе анализа типовых схем существующих систем водоснабжения выявить причины их недостаточной эффективности при работе в условиях ЧСПП и разработать технические решения, обеспечивающие качественную водоподготовку в данных условиях.

**Материалы исследований и их обсуждение.** На данный момент для устранения медико-эпидемиологического влияния ЧСПП на здоровье людей разработана нормативно-правовая база (таблица 1) [4]. Техническое обеспечение включает в себя мобильные и стационарные защитные средства, эффективность работы которых и определяет в конечном итоге качество водоподготовки.

Ключевая роль в обеспечении надлежащего качества воды отдается стационарным водоочистным сооружениям, поскольку централизованное водоснабжение имеют все города, 84% поселков городского типа, минимум 35% сельских населенных пунктов [3, 5, 6, 7]. Бытовые фильтры могут рассматриваться как дополнительное средство защиты.

Как правило, на водоочистных станциях используется типовая технология питьевой водоочистки [8]: первичная химическая обработка (коагуляция и флокуляция, отстаивание, фильтрация), вторичная химическая обработка (хлорирование). Иногда, дополнительно, технологический процесс содержит озонирование.

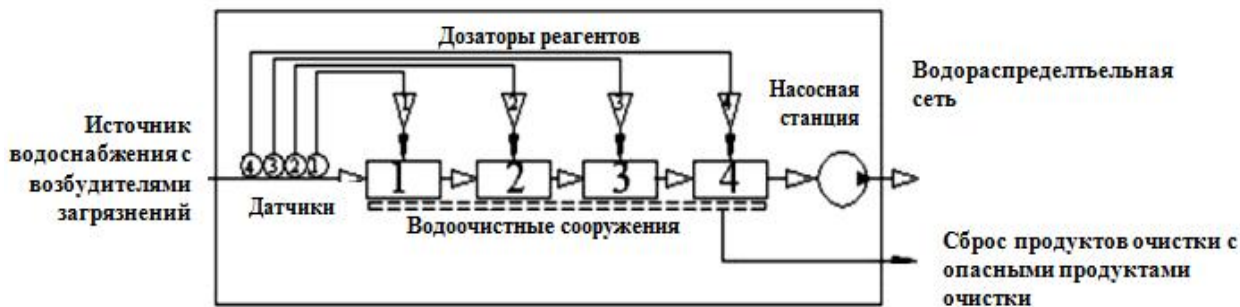
Реализация данной технологии на существующих станциях очистки (рис. 2) имеет существенные недостатки:

- большое запаздывание между появлением загрязнителя и технологической реакцией системы (значение *Coli-index* воды, например, определяется минимум через 24 часа с момента отбора пробы);
  - значительная неоднородность смеси «вода – реагент» после водоочистной станции на входе в водораспределительную сеть (колебания концентрации веществ находятся в пределах 5–15%).
- Очевидно, что данные системы не обеспечивают быструю реакцию на появление возбудителя (в любых концентрациях) и фактически допускают его попадание в распределительную сеть, по крайней мере, в течение суток.

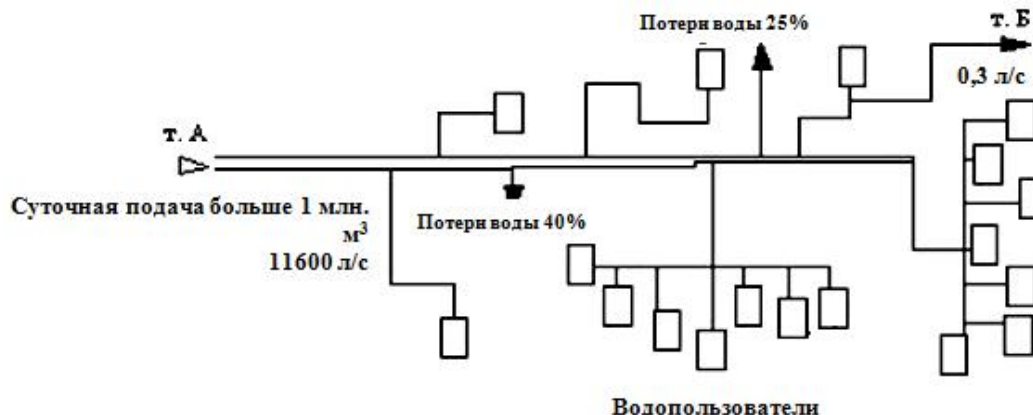
Водораспределительные сети населенных пунктов (рис. 3) также не обладают способностью противостоять воздействию негативных факторов ЧСПП.

**Таблица 1** – Существующая законодательная база и техническое обеспечение для устранения негативных последствий ЧСПП

Законодательная база	Развитие событий	Защитные средства	
		Мобильные	Стационарные
Эпидемия			
Закон о санитарном и эпидемиологическом благополучии населения, Закон об охране здоровья, Закон о питьевом водоснабжении	Неконтролируемое размножение возбудителей болезней человека в сети водоснабжения населенных пунктов	Фильтры очистки воды бытовые (п-ступенчатые)	Водоочистные станции



**Рисунок 2** – Типовая структурная схема водоочистной станции



**Рисунок 3** – Структурная схема и технологические недостатки традиционных водораспределительных сетей (г. Киев)

Таблица 2 – Результаты исследований состава воды до и после очистки (кратность – 3)

Показатель	Качество через дней							
	10	20	30	40	50	60	70	80
<i>Вода перед очисткой фильтром "барьер"</i>								
Coli-index, кое/дм <sup>3</sup>	6	3	3	4	5	6	4	3
Цветность, град.	15	17	20	19	18	16	15	16
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1,4	1,5	1,4	1,6	1,4	1,6	1,7	1,6
Температура, °C	20,3	20,7	20,9	20,5	21,1	20,5	21,0	20,8
Напор в трубопроводе при заполнении фильтра, м	34,6	35,2	34,2	35,1	34,9	36,3	35,9	34,1
<i>Вода после очистки фильтром "барьер"</i>								
Coli-index, кое/дм <sup>3</sup>	2	2	2	1	4	4	5	4
Цветность, град.	6	7	9	10	9	13	13	16
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,8	0,9	0,8	1,0	0,7	1,3	1,5	1,5

Примечание: Предельно концентрации (ГОСТ 2874-82): Coli-index – 3 КОЕ/дм<sup>3</sup>, цветность – 20 град, мутность – 1,5 мг/дм<sup>3</sup>

Анализ типовой водораспределительной сети (для г. Киева) показал [9], что:

- суточный объем возможного осадка взвешенных веществ в трубопроводах – 1,5 т;
- объем водораспределительной сети – более 2 млн м<sup>3</sup> воды;
- кратность водообмена – менее 0,5 раза за сутки;
- потери воды в сети (порывы, свищи и т.д.) – более 40%.

Таким образом, при бесперебойном режиме работы водоочистной станции и водораспределительной сети вода из точки А (рис. 3) в точку Б попадет минимум через 2 суток, что создает условия для быстрого распространения инфекции.

Следовательно, используемые в настоящее время системы водоснабжения являются уязвимыми по отношению к действию факторов, вызывающих ухудшение эпидемиологической ситуации, и не гарантируют требуемое качество питьевой воды при возникновении ЧСПП.

Отдельно необходимо остановиться на безопасности использования современных средств индивидуальной доочистки воды. Для установления показателей качества и экологической безопасности работы таких систем в исследованиях использовали современный российский фильтр "Барьер" (кассета "Барьер 4" с кокосовым активированным углем, который с целью дезинфицирующего действия обработан серебром).

Водозабор осуществлялся из артезианской скважины, пробуренной в 1981 году, глубиной 85 метров на водоносный горизонт (Вольнская обл., Владимир-Вольнский р-н., ст. Изов). Линейный путь транспортировки воды к месту забора воды составил – 450 метров (водопровод проложен в 1981 году, использованы стальные трубы). Фильтр очищал ежесуточно 3 литра воды в течение 80 суток. Согласно техническим характеристикам срок службы кассеты – 60 суток. Фильтр заполняли водой ежесуточно в 19.00. Coli-index определяли методом мембранных фильтров, цветность и мутность с использованием автоматического экспресс-анализатора "Siemens-Seibold" (таблица 2).

Характерной является преждевременная потеря фильтром "Барьер" (до 60 суток) предусмотренных рабочих характеристик. Особенно выделяется увеличение показателя Coli-index в отфильтрованной воде

после окончания срока годности картриджа (70–80 суток).

Для анализа процесса развития бактерий в материале фильтра кассету вскрыли и изъяли фильтрующую засыпку. Ее разместили на открытом для доступа воздуха месте при атмосферном давлении, температуре – 23±2 °C, освещенности 100±2 Люкс, влажности сорбента на уровне 80-86% (использовали дистиллят). Питательной среды для бактерий в засыпку не добавляли. Таким образом, имитировали попадание поврежденного отработанного картриджа в бытовые отходы.

Методом мембранных фильтров экспериментально определяли скорость развития бактерий в течение суток (рис. 4).

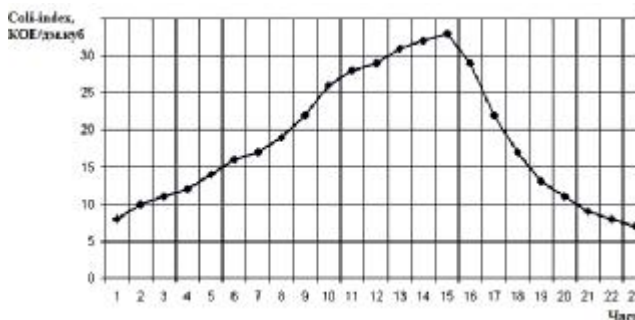
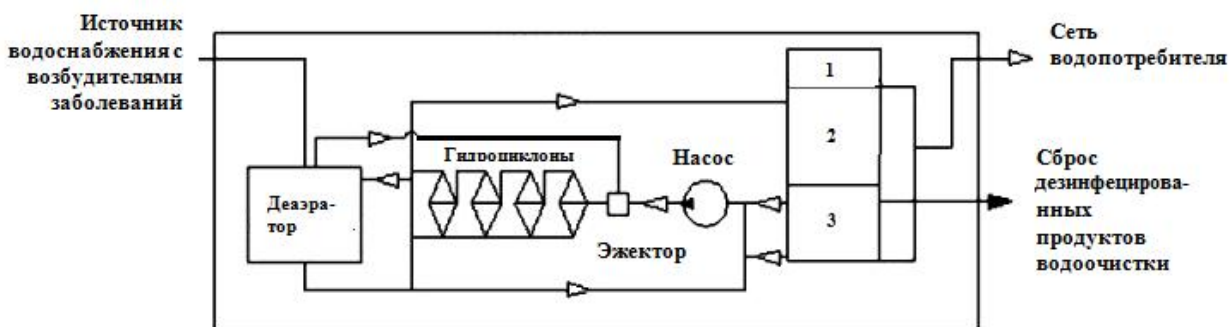


Рисунок 4 – Динамика развития бактерий кишечной палочки в фильтрующей засыпке кассеты "Барьер 4"

Из приведенной зависимости следует, что превышение допустимой концентрации бактерий имеет место в диапазоне 8–18 часов после разгерметизации. При этом поврежденный фильтр является источником заражения и несет существенную санитарно-гигиеническую опасность для людей и животных. Опасность увеличивается при наличии питательной среды для развития бактерий, что может иметь место в реальных условиях.

Таким образом, бытовые фильтры также не обеспечивают в полной мере обеззараживание питьевой воды, а в определенных условиях сами могут являться источником опасности и способствовать



1 – дозатор; 2 – фильтр; 3 – фильтр

Рисунок 5 – Структурная схема системы автоматического обнаружения и изъятия из воды возбудителей болезней человека



распространению инфекции.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод, что поставленная задача может быть решена только путем совершенствования технологии, используемой на стационарных очистных сооружениях. Она должна предусматривать быстрое обнаружение загрязнителя на входе системы и его нейтрализацию до появления на выходе. Это может быть обеспечено только за счет использования автоматических средств контроля и управления процессом очистки.

Специалистами НИЛ "Экоинженерия и ИТ" Полесского государственного университета разработана и внедрена система автоматического обнаружения и изъятия возбудителей болезней человека, согласно патенту № 95201 (рис. 5). Она позволяет на основе интенсификации физических, химических и биологических процессов с помощью физических полей (ультразвук, магнитное поле, световое излучение) средствами автоматизации управлять свойствами водных растворов и получать на выходе системы заранее заданные показатели качества воды и соединения компонентов.

Соответствие функциональных характеристик автоматизированной системы технологическим требованиям (среднеквадратическая ошибка – 3,82%) установлена в результате имитационного моделирования [6].



Рисунок 6 – Опытные образцы автоматизированных систем очистки

Для промышленной апробации опытный образец установлен на ООО «Топ-Металл» (рис. 6), где система обеспечивает очистку сточных вод гальванического производства до норм повторного использования в производственных процессах. Аппаратная часть системы

с нейросетевым модулем управления реализована на базе микропроцессора AtiMega. В случае успешного завершения испытаний система может быть рекомендована для широкого применения на отечественных водоочистных сооружениях. Использование данных систем позволит:

- повысить качество водоподготовки, в том числе в условиях ЧСПП, и, как следствие, уменьшить вероятность распространения эпидемий через водораспределительные сети населённых пунктов;
- исключить дополнительную операцию по утилизации продуктов очистки воды.

Сопутствующим эффектом может явиться увеличение срока эксплуатации существующих водораспределительных сетей [8, 9].

**Заключение.** В результате проведенных исследований выявлены недостатки существующих систем водоснабжения и установлены причины их неудовлетворительной работы в условиях чрезвычайных ситуаций. Разработаны и реализованы на практике технические решения, позволяющие существенно повысить эффективность водоочистки на основе использования средств автоматизации. Их широкое применение позволит повысить качество питьевой воды и улучшить медико-эпидемиологическую обстановку в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яромский, В.Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В.Н. Яромский. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009. – 171 с.
2. Clark, N.A. The inactivation of purified coxsackie virus in water by chlorine / N.A. Clark, P.W. Kabler // Am. J. Hyg. USA. – 1954 – № 59. – P. 119–127.
3. Kuchta, J.M. Enhanced chlorine resistance in tap water-adapted *Legionella pneumophila* as compared with agar medium-passaged strains / J.M. Kuchta, S.J. States, J.E. McGlaughlin// Applied Environmental Microbiology – 1985 – Vol. 50 – P. 21–26.
4. Гончаров, Ф.И. Влияние гидравлической крупности взвешенных частиц на Coli-index воды / Ф.И. Гончаров, В. Штепа // Научные доклады Национального университета биоресурсов и природопользования Украины [Электронный ресурс]. – 2009-02(14). – Режим доступа: <http://nd.nauu.edu.ua/2009-2/09qfinnm.pdf> – Дата доступа: 10.09.2015.
5. Гончаров, Ф.И. Энерго- и ресурсосберегающая схема системы водоснабжения населённых пунктов / Ф.И. Гончаров, В.Н. Штепа // Научные заметки Луцкого национального технического университета. – Луцк: ЛНТУ, 2009. – С. 49–54.
6. Гончаров, Ф.И. Микропроцессорное устройство усовершенствовании схемы внутренней сети систем водоснабжения / Ф.И. Гончаров, В. Штепа // Труды Луганского отделения Международной академии информатизации – Луганск: МАИ. – 2009. – № 2 (19). – Ч.1 – С. 43–46.
7. Russell, A.D. Bacterial resistance to disinfectants: present knowledge and future problems / A.D. Russell // Journal of Hospital infection. – 1999 – Vol. 1 – № 998. – P. 57–68.
8. Гончаров, Ф.И. Опасность современных индивидуальных средств доочистки воды. Создание прогностической нейросетевой модели / Ф.И. Гончаров, В. Штепа // Научные доклады Национального аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2008-04 (12). – Режим доступа: <http://nd.nauu.edu.ua/2008-4/08qfinnm.pdf> – Дата доступа: 10.09.2015.
9. Мазоренко, Д.И. Инженерная экология сельскохозяйственного производства / Д.И. Мазоренко, В. Козелко, Ф.И. Гончаров. – М.: Знание, 2006. – 376 с.

Материал поступил в редакцию 22.02.2016

SHTEPA V.N., PROKOPENYA O.N., KOT R.Y. Water supply improving by means of automation in the conditions of emergency situations of a natural origin

Analysis of existing water supply system is carried out and the reasons of their low efficiency in the conditions of emergency situations of a natural origin is clarified. Automatic water supply system on bases of neural network is described, which allowed to discover and remove infection at time. That gives possibility to reduce a probability of epidemic development.