

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК  
ВОДООЧИСТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОТАЦИЙ UML**

**А. А. КУЗНЕЦОВ**, доктор технических наук  
*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

**В. Н. ШТЕПА**, кандидат технических наук

**Р. Е. КОТ**, инженер

**А. В. МОРГОЛЬ**, инженер

*Полесский государственный университет,  
г. Пинск, Республика Беларусь*

*е-mail: shns1981@gmail.com*

**Аннотация.** *Статья посвящена созданию программных средств решения важной научно-прикладной проблемы – разработке методов очистки сточных вод промышленных объектов. Рассмотрены существующие методы очистки воды, проанализированы их недостатки с точки зрения использования в производственных условиях в режиме реального времени. Представлена технологическая интеграция известных способов воздействия на водные растворы в одном электротехническом комплексе – системе безопасного водопользования (СБВ). На унифицированном языке моделирования UML в CASE-средстве Rational Rose построены соответствующие диаграммы, на основе которых возможен синтез интеллектуального программного обеспечения блока адаптивного управления.*

**Ключевые слова:** *производственные сточные воды, экологическая безопасность, комбинированные установки водоочистки, проектирование информационных систем*

Актуальность исследований, направленных на создание метода и технических средств для качественной и эффективной очистки сточных вод производственных предприятий (лёгкая, аграрная, пищевая промышленности, гальванопроизводства) с возможностью её повторного использования в технологических процессах, подтверждается проектом программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы, где указано, что предусматривается 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.

На сегодняшний день из общего объема сточных вод применяются соответственно: к 68% – механические методы очистки воды, к 3% –

физико-химические методы очистки воды и к 29% – биологические методы очистки. Как показала практика внедрения систем водоочистки [1, 3, 4] действительный эффект достигается только при комбинировании разных методов.

С технологической точки зрения, разработка новых методов использования технологий водоочистки вызвана их известными эксплуатационными недостатками. Для систем, которые применяют физические (механические) методы, такими технологическими недостатками являются [2, 3]:

- возможность создания, в результате частичного засорения фильтрующих элементов, колоний бактерий на работающих средствах водоочистки (фильтры);
- накопление вредной для человека и окружающей среды отфильтрованной массы (фильтры, центрифуги, отстойники, гидроциклоны);
- исключительно проточный непрерывный режим работы (фильтры, центрифуги, гидроциклоны);
- уничтожение только самих вирусов, микробов и бактерий, а не более вредных продуктов их жизнедеятельности (ультразвук, облучение, озонирование);
- уничтожение полезной (необходимой для человека) микрофлоры (ультразвук, озонирование, облучение);
- ограниченность эффекта последствия и проникающей способности при высокой концентрации загрязнителя (озонирование, облучение, ультразвук).

Недостатки химических методов [1, 3]:

- высокая вероятность образования в результате химических реакций новых соединений, которые больше вредны для человека и окружающей среды, чем первоначальные загрязнители (все средства);
- накопление большого объема вредных комплексов "отработанный реагент + загрязнитель" (коагуляция, флокуляция);
- уничтожение полезной микрофлоры (хлорирование);
- наличие реагентного хозяйства, которое само и является загрязнителем окружающей среды (все средства).

Недостатки биологических методов [2, 5]:

- высокие требования по соблюдению технологии (температура, давление, входящий состав воды); соответственно, большие затраты энергоресурсов или остановка очистки (все средства);
- неадаптированность к существующим "залповым" выбросам химически активных вредных веществ (все средства);
- большая сложность и затратность интенсификации (ускорение) процессов очистки (вермиккультура, биологические пруды).

Общим недостатком методов является то, что необходимо контролировать в режиме реального времени десятки параметров качества воды и технологических процессов, а существуют и надёжно

работают на промышленных объектах только единицы автоматизированных измерительных приборов.

Проанализировав вышеприведенное, очевидно, что для улучшения эффективности использования систем водоочистки необходимо создавать системы автоматизации с возможностью работы в условиях неопределённости и размытости входной информации.

Синтез соответствующего программного обеспечения возможен только после моделирования проблемной области, например с применением нотаций языка UML.

**Цель исследований** – провести проектирование программного обеспечения системы автоматизации комбинированных установок водоочистки.

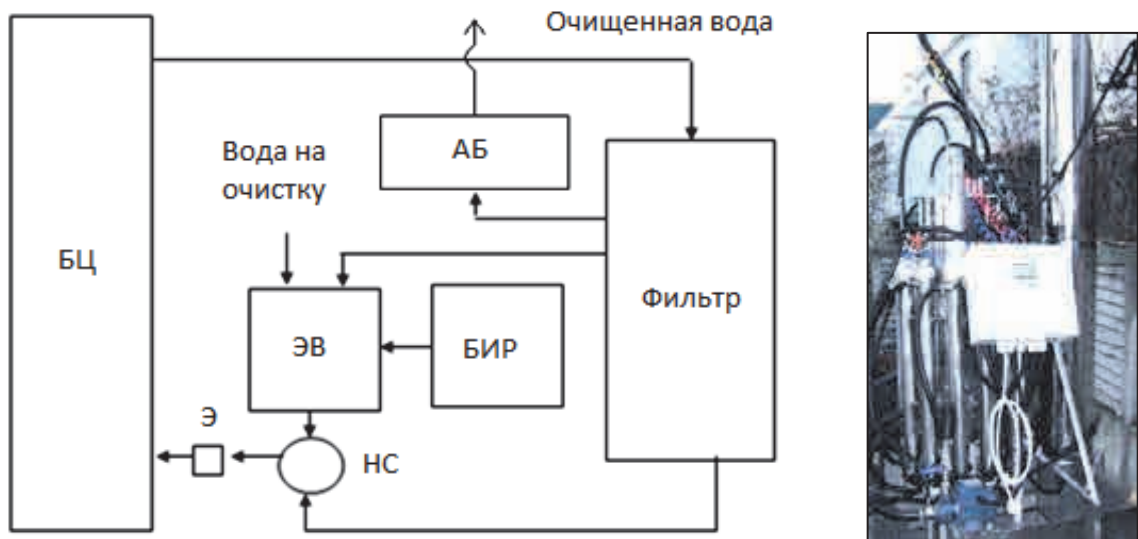
**Материалы и методика исследований.** Базовое технологическое оборудование, для которого планируется проектирование программного обеспечения, предназначено для очистки промышленных водостоков производственных объектов. Используемая технология позволяет с помощью физических полей (ультразвук, магнитное поле, световое излучение) управлять надмолекулярной структурой водных растворов, получая на выходе установки заранее заданные параметры качества воды и/или состав извлекаемых компонентов.

Принцип действия СБВ основан на постадийной проточной переработке рабочей среды в жидкой и газообразной фазе в трех замкнутых байпасных рециркуляционных контурах в целом составляющих систему «потребитель» – «источник водоснабжения».

Очистка производится в процессе обеспечения в потоке электрокинетических процессов (рис. 1), при использовании в качестве реагента солей железа, полученных в процессе электролиза из металлической стружки (отходы металлообработки на производстве).

Для проектирования программного обеспечения используем Unified Modeling Language (UML), поскольку его методология объектно-ориентирована, в результате чего, методы описания результатов анализа и проектирования семантически близки к методам программирования на современных объектно-ориентированных языках (C#, Java). Также UML позволяет описать систему практически со всех возможных точек зрения и разных технологических аспектов поведения системы – расширяется возможность применения систем поддержки принятия решений (СППР) при синтезе структуры создаваемого продукта.

В результате анализа производственных испытаний [1, 3, 5], устанавливаем, что в проектируемой информационной системе имеются следующие актёры-люди (согласно нотации UML): инженер-технолог, дежурный оператор.



**Рис. 1. Структурная схема СБВ: БЦ – блок электрогидроциклонов:**  
 Э – эжектор; ЭВ – электролитическая ванна; НС – насос;  
 БИР – блок интенсификации реакций; АБ – анаэробный блок (без интеграции биогенератора)

Кроме них, есть актёры, соответствующие внешним системам: измерительно-аналитический комплекс, блок управления, интеллектуальный блок эффективных приёмов управления, технические средства.

Для упрощения структуры концептуальной модели примем, что локальные системы автоматизации входят в глобальный блок управления, а технические средства (физические, биологические, физико-химические) объединим в одну внешнюю систему.

Конкретные варианты использования отражаются в основном и альтернативном потоках событий (проектирование реализовано в CASE-приложении Rational Rose).

**Результаты исследований.** Прецеденты, инициируемые интеллектуальным блоком эффективных приёмов управления (рис. 2):

*Получать, хранить и анализировать информацию относительно процессов водоочистки, с возможностью доступа к данным инженера-технолога.* Систематически получать информацию с измерительно-аналитического комплекса; на основе блока синтезируется и функционирует база данных протекания процессов водоочистки.

*Рассчитывать ресурсоэффективные значения настроек параметров технических средств водоочистки.* С использованием интеллектуальных технологий, например, нейронных сетей, когнитивных моделей и сетей Петри, определять в режиме реального времени ресурсоэффективные значения настроек технических средств водоочистки.

*Передать рассчитанные ресурсоэффективные значения на блок управления.* Систематически передавать значения настроек на блок управления.

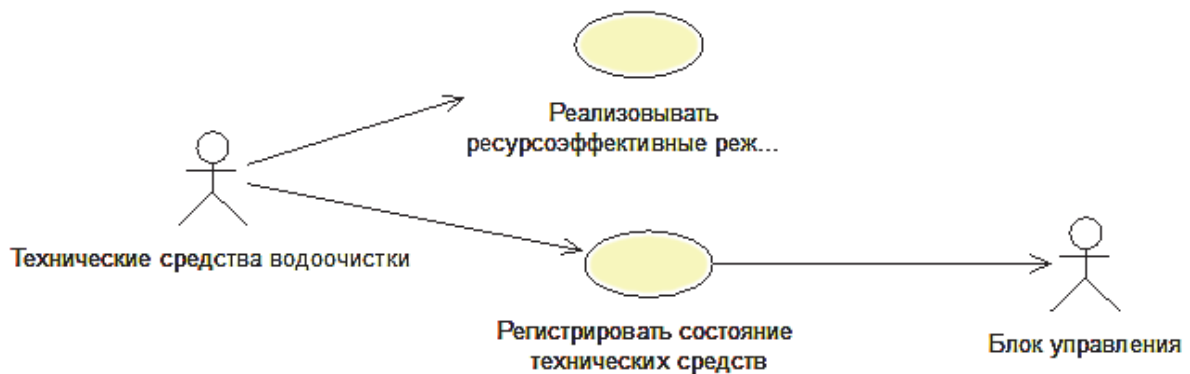


**Рис. 2. Прецеденты интеллектуального блока эффективных приёмов управления**

Прецеденты технических средств водоочистки (рис. 3):

– *Реализовывать ресурсоэффективные режимы водоочистки.* Обеспечение технологических режимов работы водоочистки, которые определены интеллектуальным блоком эффективных приёмов управления.

– *Регистрировать и передавать на блок управления информацию о техническом состоянии средств водоочистки.* С помощью штатных измерительных приборов регистрировать состояние номенклатуры оборудования водоочистки.



**Рис. 3. Прецеденты технических средств водоочистки**

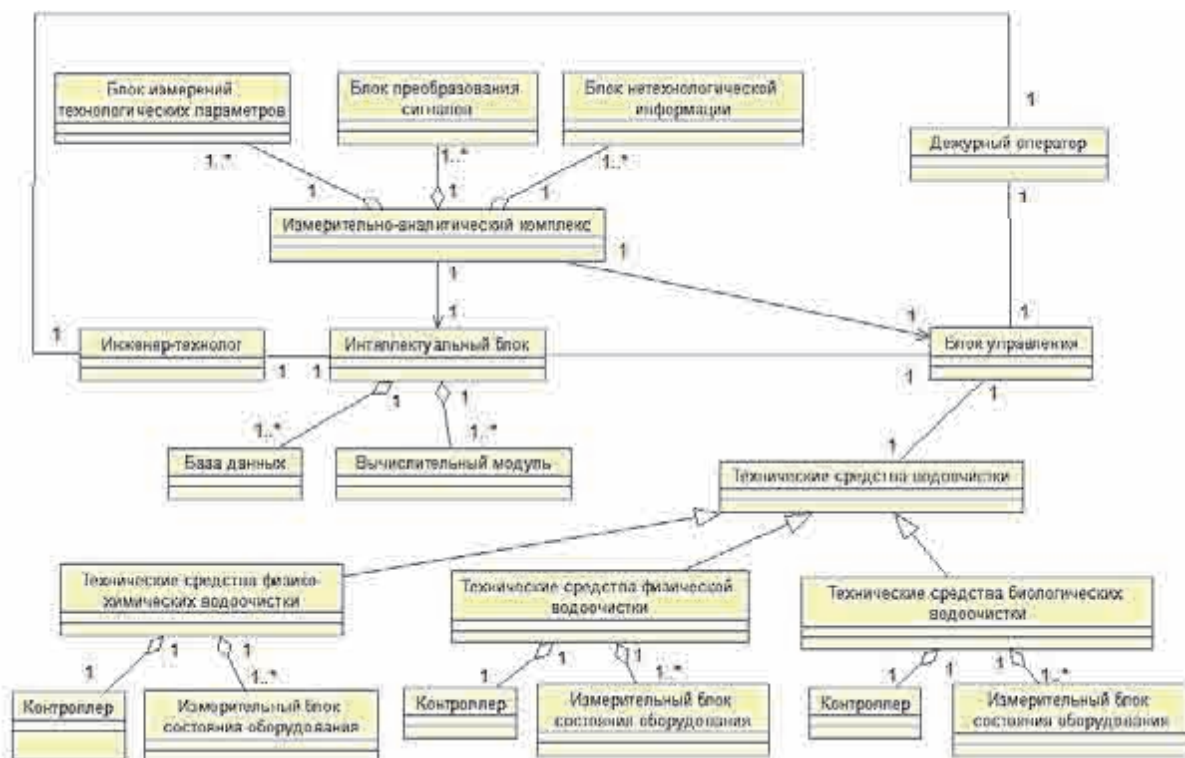
Поскольку комбинированную систему водоочистки можно считать состоящей из нескольких способов водоочистки, класс “система водоочистки” моделируется как составной, включающий физическую, биологическую и физико-химическую установки. В модели это будет представлено с помощью иерархии обобщения/специализации (рис. 4).

При этом каждый класс “технические средства” агрегирует в себя класс “контроллер” и определенное количество (больше одного) “измерительный блок состояния оборудования”.

Между классами “блок управления”, “дежурный оператор” и “интеллектуальный блок” имеется двунаправленная ассоциация. Однонаправленная ассоциация связывает “измерительно-аналитический комплекс” и “блок управления”. Таким же образом соединены “измерительно-аналитический комплекс” и “интеллектуальный блок”. При этом “измерительно-аналитический комплекс” агрегирует: “блок измерения технологических параметров”, “блок преобразования сигналов” и “блок нетехнологической информации”.

Для эффективности работы и сохранения характеристик “интеллектуальный блок” агрегирует “вычислительный модуль” и “базу данных”.

“Инженер-технолог” концептуально определяет работу “интеллектуального блока” и при этом пользуется результатами его работы. Связь между “инженером-технологом” и “дежурным оператором” реализуется с помощью двунаправленной ассоциации. Множественность между классами определена согласно технологического анализа из соображений обеспечения автоматизации производственных процессов [4].

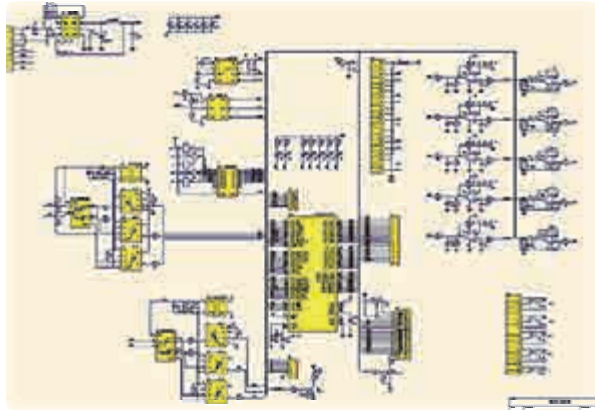


**Рис. 4. Концептуальная статическая модель системы рационального управления комбинированными установками водоочистки**

Разработанная система с нейросетевым модулем управления (рис. 4), аппаратная часть реализована на базе микропроцессора AtMega (рис. 5), проходит производственную проверку на ООО «Системная инженерия», где



СБВ обеспечивает очистку сточных вод лакокрасочного производства до норм повторного использования в производственных процессах: на протяжении месяца эксплуатации энергоэффективность данного технологического процесса улучшилась на 16%, что подтверждает адекватность спроектированной структуры системы управления и верность выбора функциональных блоков (связей между ними).



А)

Б)

**Рис. 5. Микропроцессорная система управления СБВ:**  
А – принципиальная электрическая схема, Б – внешний вид

### Выводы

С учётом многофакторности и размытости входной информации в процессе синтеза программного обеспечения систем автоматизации комбинированных установок водоочистки, рационально изначально провести проектирование (моделирование) концептуальной структуры информационной системы на универсальном языке UML, что повысит надёжность и структурную устойчивость создаваемого программного продукта.

### Список литературы

1. Гончаров Ф. І. Експериментальні дослідження електролізних процесів у водних розчинах із миючими засобами / Ф. І. Гончаров, В. М. Штепа, А. П. Левчук [та ін.] // Енергетика і автоматика. 2012. – № 1 (11).
2. Гончаров Ф. І. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій / 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). – Кн. 2. – С. 97–104.
3. 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 // Енергетика і автоматика. – 2012. – 1 (11).
4. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очистки стічних вод промислових об'єктів / В. М. Штепа //

Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНУТСГ. – 2014. – Вип. 154. – С. 48–50.

5. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 259–265.

### References

1. Honcharov, F. I., Shtepa, V. M., Levchuk, S.V. [ta in.] (2012). Eksperymentalni doslidzhennia elektroliznykh protsesiv u vodnykh rozchynakh iz [Experimental studies electrolysis processes in aqueous solutions of detergents]. Enerhetyka i avtomatyka, 1, 11.

2. Honcharov, F. I., Shtepa, V. M. (2012). Metodolohiia pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky ob'ektiv ahropromyslovoi ta kharchovoi industrii [Methodology improve the environmental safety of agricultural and food industry]. Tekhniko-tehnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniky i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske: UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho, 16 (30), 2, 97–104.

3. Shtepa, V. M. (2014). Obhruntuvannia alhorytmu eksperymentalno-analitychnykh doslidzen rezhyziv elektrotekhnichnoi ochystky stichnykh vod ahropromyslovykh ob'ektiv z metoiu pobudovy enerhoefektyvnykh system upravlinnia [Justification algorithm experimental and analytical studies of electrical regimes agricultural wastewater treatment facilities to build energy-efficient control systems]. Enerhetyka i avtomatyka, 1 (11).

4. Shtepa, V. M. (2014). Obhruntuvannia arkhitektury systemy upravlinnia kompleksnymy metodamy ochystky stichnykh vod promyslovykh ob'ektiv [Justification architectural complex management methods wastewater of industrial plants ]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, 154, 48–50.

5. Shtepa, V. M. (2014). Otsinka enerhetychnykh kharakterystyk protsesiv ochyshchennia stichnykh vod ahropromyslovykh pidpriemstv elektrotekhnichnymy kompleksamy [Energy performance assessment processes sewage of agricultural enterprises by electrotechnical complexes]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, 194 (3), 259–265.

## ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОМБІНОВАНИХ УСТАНОВОК ВОДООЧИСТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НОТАЦІЙ UML

**А. А. Кузнєцов,  
В. М. Штепа,  
Р. Є. Кот,  
А. В. Морголь**

**Анотація.** Стаття присвячена створенню програмних засобів вирішення важливої науково-прикладної проблеми – розробки методів очищення стічних вод промислових об'єктів. Розглянуто існуючі методи очищення води, проаналізовано їх недоліки з точки зору використання в виробничих умовах у режимі реального часу. Представлено



*технологічну інтеграцію відомих способів впливу на водні розчини в одному електротехнічному комплексі – системі безпечного водокористування (СБВ). На уніфікованій мові моделювання UML в CASE-засобі Rational Rose побудовані відповідні діаграми, на основі яких може бути здійснений синтез інтелектуального програмного забезпечення блоку адаптивного керування.*

**Ключові слова:** *виробничі стічні води, екологічна безпека, комбіновані установки водоочищення, проектування інформаційних систем*

## **SOFTWARE SYSTEMS DESIGN OF AUTOMATION SYSTEMS COMBINED WATER TREATMENT USING UML NOTATION**

**A. Kuznetsov,  
V. Shtepa,  
R. Kot,  
A. Morgol**

**Abstract.** *The article is devoted to the creation of software solutions an important scientific and applied problem – the development of sewage treatment facilities of the industrial methods. The existing water treatment methods, their shortcomings are analyzed in terms of use in a production environment in real time. The technological integration of the known methods of exposure to aqueous solutions in one electrical complex – safe water system (SWT). On the unified modeling language UML CASE-tool Rational Rose constructed the corresponding chart on the basis of which the possible synthesis of intelligent software adaptive control unit.*

**Keywords:** *industrial waste water, environmental safety, combined installation of the water purification, systems design*