

**СТРУКТУРНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

д-р. техн. наук, доц. В. Н. ШТЕПА

(Полесский государственный университет, г. Пинск, Беларусь);

канд. техн. наук, доц. В. Д. ЮЩЕНКО, А. В. ГАЛУЗО

*(Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, Беларусь)*

Аннотация. Рассмотрены варианты построения системы контроля биологических очистных сооружений на основе концептов «единый чёрный ящик» и декомпозиции её структуры на четыре подсистемы; создана блок-схема комбинированного алгоритма их использования. Разработано унифицированное программное обеспечение нейросетевого моделирования процессов обработки сточных вод. Сформулированы задачи дальнейших исследований в области контроля и прогнозирования функционирования биологических очистных сооружений.

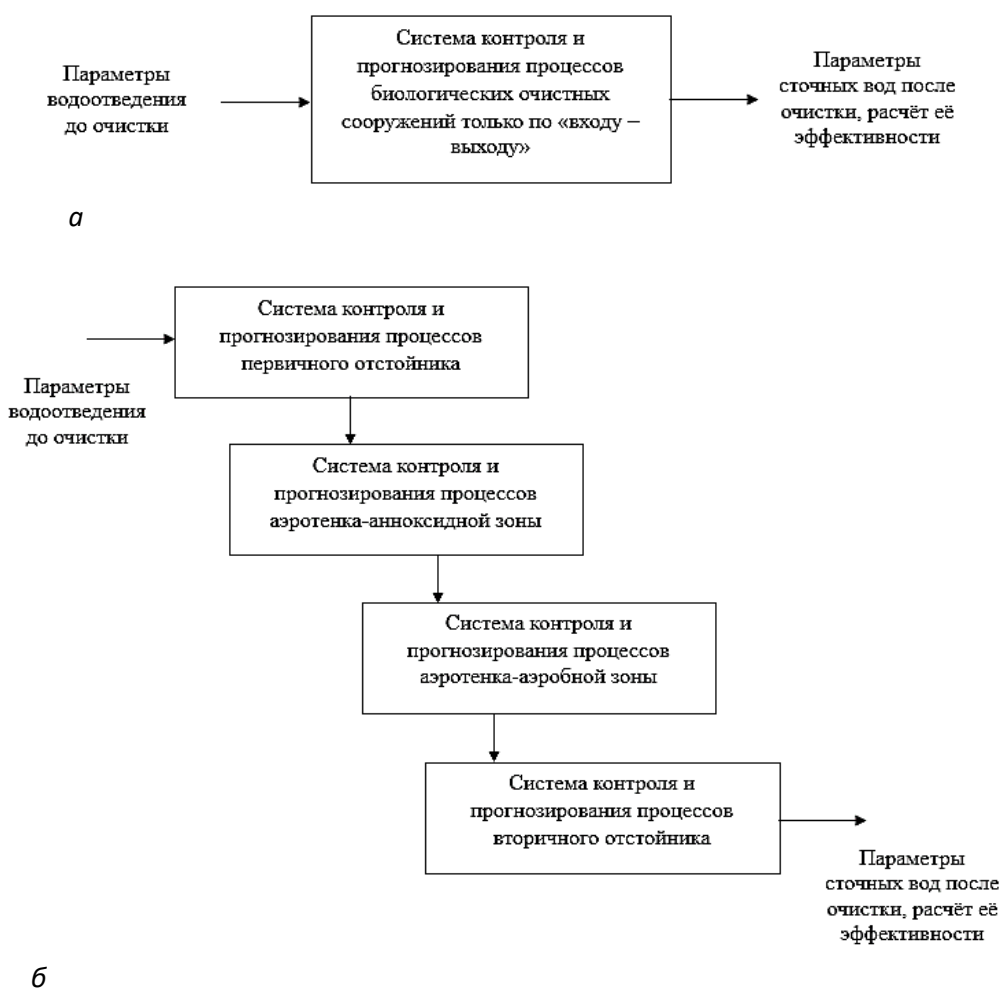
Ключевые слова: контроль, биологические очистные сооружения, нейронные сети, программное обеспечение.

Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» определяет экологическую безопасность, как состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от возможного вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Таким образом, с точки зрения функциональности очистных сооружений (ОС), задачей последних является обеспечение выполнения нормативных требований относительно качества очистки сточных вод (СВ) сбрасываемых в водные объекты [1, 2]. С учётом постоянного колебания количественных и качественных параметров водных растворов в системах водоотведения населённых пунктов и промышленных предприятий, для выполнения такой задачи необходимо осуществлять оперативный контроль работы сооружений очистки. Под термином «контроль» имеется ввиду – система мероприятий, направленных на мониторинг и подтверждение соответствия процессов очистки СВ, установленным технико-технологическим и экономическим требованиям. При этом протекающие в водных растворах био-химико-физические процессы характеризуются многофакторностью, нелинейностью и нестационарностью, что позволяет актуализировать использование для решения вышеуказанных задач математического аппарата нейронных сетей.

Вместе с тем среди прочих существует два варианта построения системы контроля (СК) биологических очистных сооружений (БОС) (рисунок 1) [3] (на примере г. Витебска):

- «единый чёрный ящик», когда используются только два блока данных: «вход на первичные отстойники – выход из вторичных отстойников» (без учёта изменения (промежуточных) показателей качества СВ на отдельных внутренних элементах БОС);

- декомпозиция структуры СК БОС на четыре подсистемы согласно технологических элементов БОС: первичный отстойник, аэротенк – анноксидная зона, аэротенк – аэробная зона, вторичный отстойник.



а – «единый чёрный ящик»; **б** – «декомпозиция на четыре подсистемы»
Рисунок 1. – Структуры контроля работы БОС г. Витебска при различных подходах

Экспертная оценка использования «единого чёрного ящика» позволяет выделить его следующие положительные стороны:

- кратно уменьшается количество дорогостоящих измерительных средств, которые необходимо использовать для оперативного мониторинга;

- уменьшается загруженность лаборатории;
- увеличивается точность получаемой информации, в силу уменьшения накапливаемой ошибки измерения технологических параметров работы очистных сооружений.

Вместе с тем преимуществом использования ассоциации из четырёх нейронных сетей является объектно-ориентированная регулировка работы и диагностика состояния отдельных технологических узлов: для г. Витебска отстойников и аэротенков.

Поэтому целесообразно предусмотреть возможность комбинированного подхода: параллельного контроля как в режиме только «вход – выход» так и отдельных технологических узлов очистных сооружений (периодически и/или по запросу).

На основе такого концепта разработана универсальная крупненькая блок-схема создания и использования программного обеспечения (ПО) комплексных сооружений очистки сточных вод, которая представлена на рисунке 2 (с интеграцией в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)).

Исходя из алгоритма синтеза и функционала программного обеспечения (рисунок 2) и технологических установок системы контроля включает в себя:

1. Блок измерений технологических параметров и экспертных данных [4];
2. Интеллектуальный блок (реализовано нейросетевое моделирование, прогнозирование и контроль);
3. Блок состояния технических средств очистки.

При создании нейросетевого модуля интеллектуального блока использовался Tkinter – пакет для Python, предназначенный для работы с библиотекой Tk, которая содержит компоненты графического интерфейса пользователя (graphical user interface – GUI) и написано на языке Tcl. Через них реализовано взаимодействие с программой контроля; часть подпрограмм разработана с событийно-ориентированным графическим интерфейсом пользователя. Также в рамках разработки применена платформа Qt, что позволяет запускать написанное с её помощью ПО в большинстве операционных систем путем компиляции программы без изменения исходного кода.

При этом есть возможность формирования, анализа и графического отображения технологических данных с использованием интеллектуального блока (рисунок 3).

Разработанное ПО отвечает требованиям унифицированности, что дает возможность его использования на разноотраслевых объектах без длительной и сложной адаптации под используемые программно-аппаратные ресурсы и выдвигание особых требований относительно информационных систем.

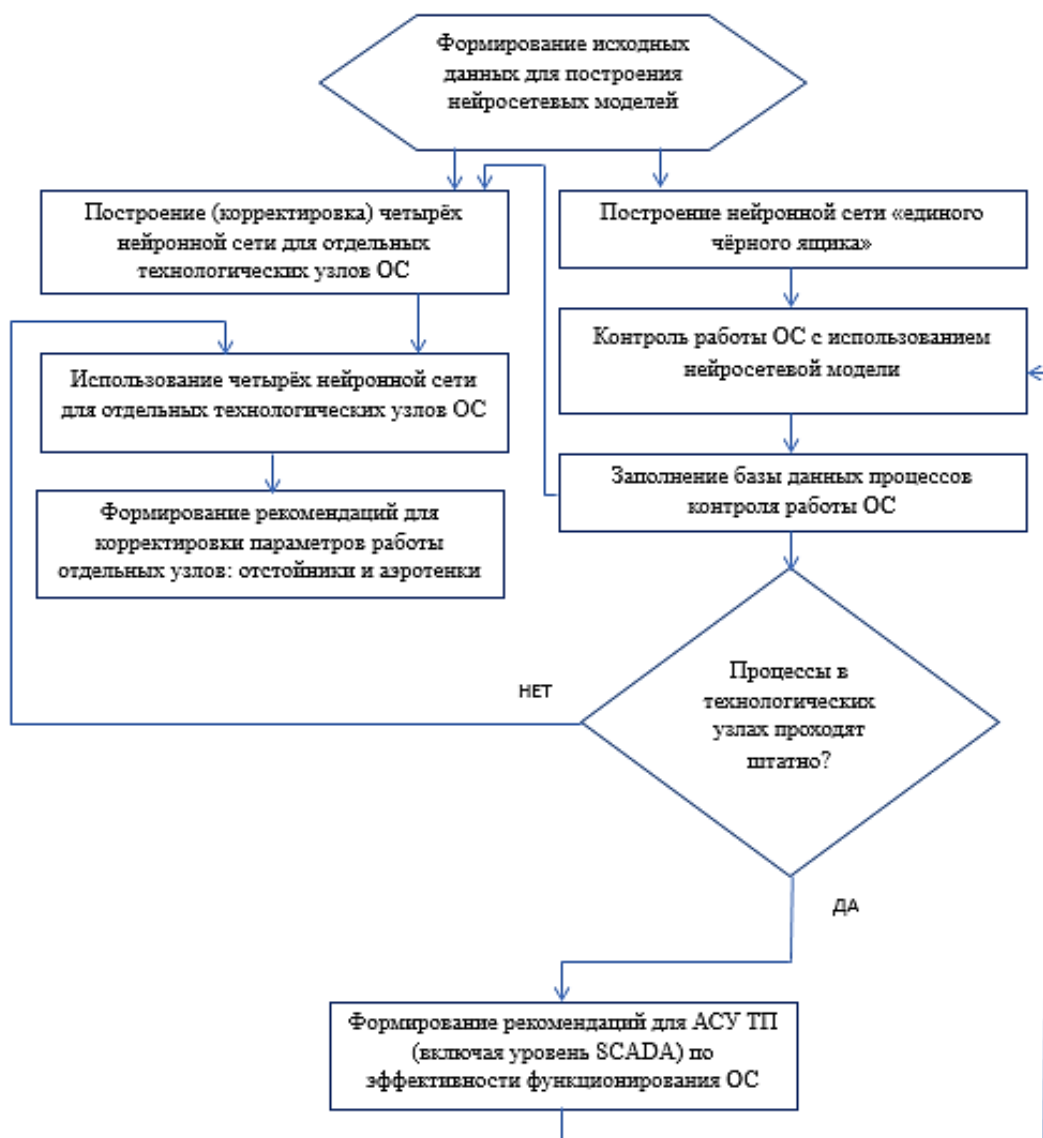


Рисунок 2. – Блок-схема создания и использования системы контроля функционирования очистных сооружений

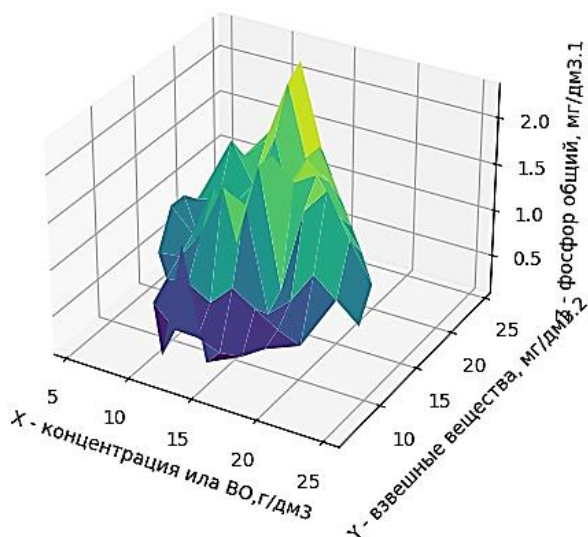


Рисунок 3. – Графические зависимости показателей качества сточных вод после их очистки на БОС от технико-технологических параметров на примере концентрации фосфора

Заключение. Обоснованное комбинирование подходов контроля БОС «единый чёрный ящик» и «декомпозиция на четыре подсистемы» позволило создать унифицированную структуру и алгоритмическое обеспечение, а на его основе интеллектуальное программное обеспечение нейросетевого моделирования очистки сточных вод. Перспективные исследования необходимо сориентировать на формирование репрезентативных наборов данных, которые бы позволили улучшить функционал СК и дали возможность повысить её адекватность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Практическое использование информационно-аналитической системы оценки экологической безопасности водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // II Форум IT-Академграда Искусственный интеллект в Беларуси / Объединенный институт проблем информатики. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 251–256.
2. Системный анализ компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций. – Минск: УГЗ, 2023. – С. 20–21.
3. Галузо, А.В. Разработка системы контроля и прогнозирования эффективности функционирования биологических очистных сооружений г. Витебска на основе нейронных сетей / А.В. Галузо, В.Н. Штепа, В.Д. Ющенко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 3 (35). – С. 2–10.
4. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 94–103.