

3. Наш край: Брестчина : исторические очерки, документы, воспоминания, хроника / [сост. М. Г. Никитин]. – Брест : Академия, 2004. – 271 с.
4. Памяць: Гісторыка-дакументальная хроніка Брэста : у 2 кн. / Рэд. кал.: Г. К. Кісялёў [і інш.]. – Mn. : БелТА, 1997–2001.
5. КПУП «Брестводоканал»: [сайт]. – Брест, 2025. – URL: <https://bvod.by> (дата обращения 20.11.2025).

УДК 628.3:621.3

**Подходы казуального моделирования отведения городских сточных
вод**

Осипов Е.А.¹, Шикунец А.Б.², Шинкевич К.С.¹

¹Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

²Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь

Научный руководитель Штепа В.Н.¹, д.т.н., доцент

Оценены направления создания и эксплуатации сооружений очистки городских сточных вод с точки зрения повышения их эффективности и экологической безопасности на основе практического применения подходов казуального моделирования систем водоотведения. Предложена последовательность разработки и использования имитационных динамических визуально-блочных структур, описывающих причинно-следственные связи и позволяющих выполнять прогнозирования развития технологической ситуации.

Для качественной эксплуатации (проектирования) сооружений очистки (ОС) городских сточных вод (СВ), критически актуально обосновать и разработать адекватные модели не только ОС (с чем имеются крайне значительные проблемы), но и процессов водоотводящей сети. При этом во время разработки реальных систем автоматизации одна из ключевых проблем – адекватность выборок данных поступающих от измерительных средств и лабораторий (отдельный аспект их систематизация и синхронизация по времени) [1, 2].

Фильтрацию входного сигнала целесообразно выполнить с применением информации преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ): метод частотно-временного анализа на основе эмпирической модовой декомпозиции (EMD) нелинейных и нестационарных процессов и гильбертово спектральный анализ (HSA) [3]. EMD обеспечивает итерационное определение функций

эмпирических мод $c_j(t)$ и остатков $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, где $j = 1, 2, 3, \dots, n$ при $r_0 = y(t)$ [3]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (1)$$

где n – количество эмпирических мод, которая устанавливается в расчетах.

Дальнейший шаг предобработки данных – выявление взаимовлияния различных, систематизированных и синхронизированных по времени и локации, выборок данных. Для этих целей можно использовать традиционную попарную корреляцию между переменными (например, « x » и « y »). Наличие корреляционной связи определяется по величине коэффициента корреляции: сильная (тесная) – $|r_{xy}| > 0,70$; средняя – $0,50 < |r_{xy}| < 0,69$; умеренная – $0,30 < |r_{xy}| < 0,49$; слабая – $0,20 < |r_{xy}| < 0,29$; очень слабая (отсутствует) – $|r_{xy}| < 0,19$.

Аккумулировав данные по результатам работы поверенных IoT-измерительных средств работающих на входе ОС и проб отобранных в контрольных колодцах абонентов сети водоотведения и проанализированных аккредитованной лабораторией оценки качества сточных вод; выполнив их математическую фильтрацию на основе преобразования Гильберта-Хуанга и применив корреляционный анализ – получим предварительные причинно-следственные связи воздействия отдельных поллютантов абонентов на параметры СВ «в голове» очистных сооружений. На рисунке 1 представлена визуализация такой корреляционной обработки информации для предприятия по переработке молока.



Рис. 1. Визуализация систематизации и корреляционного анализа данных контроля аккредитованной лабораторией предприятия по переработке молока и результатов измерений IoT-средств на входе ОС

Следующий шаг – построение динамических имитационных моделей, базируясь на постулатах системной динамики. Её подходы нацелены на определение базовых причин различных динамических эффектов и призваны позволить оценивать результаты сценариев управлеченческих решений, что однозначно важно для систем водоотведения населённых пунктов [4].

При этом, согласно ГОСТ Р 57412-2017, имитационные модели, это «структуры, в которых форму и коэффициенты зависимости одних параметров от других находят путем многократного испытания модели с различными входными данными» (рис. 2, 3).

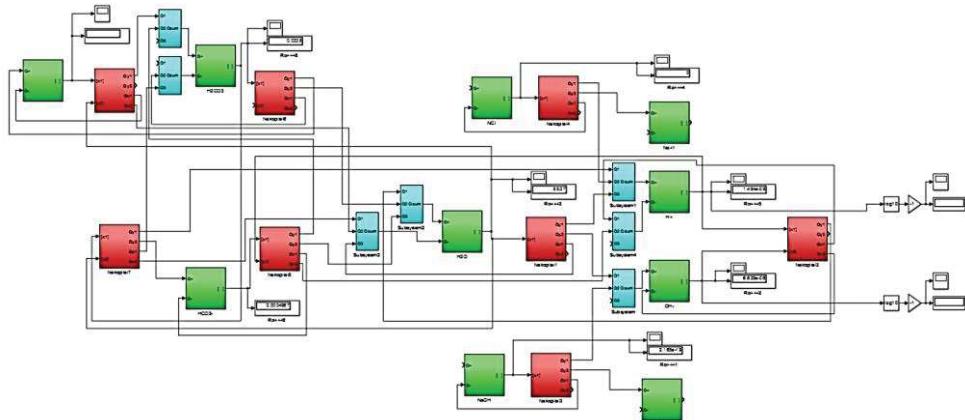


Рис. 2. Пример концептуальной мнемосхемы визуально-блочного имитационного моделирования водоотведения населённого пункта

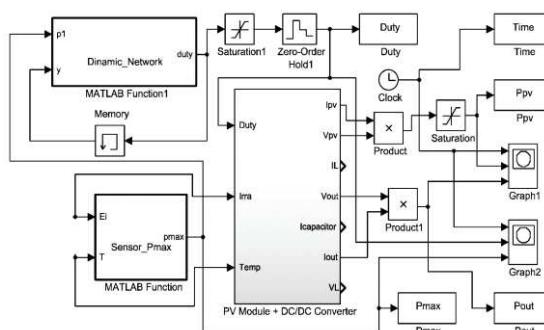


Рис. 3. Мнемосхема декомпозиции блока «Канализационная насосная станция» визуально-блочного имитационного моделирования водоотведения населённого пункта

В комплексе представленная последовательность («математическая фильтрация сигналов» – «корреляционный анализ» – «имитационное динамическое моделирование») позволяет реализовать в рамках отведения городских СВ концепт каузального моделирования (нахождение внутренних причинно-следственных связей и реализация прогнозирования). Такой пример представлен на рисунке 4 для сравнения результатов динамического моделирования изменения pH сточных вод поступающих на вход ОС реального населённого пункта.



Рис. 4. Графическая интерпретация сравнения результатов имитационного моделирования (прогнозирования) pH городских сточных вод на входе очистных сооружений с фактически зафиксированными значениями

Анализ казуального моделирования позволяет выделить следующие уровня такого мониторинга процессов водоотведения:

- упрощённые системные и физические модели с фильтрацией информационных сигналов;
- базовые системные и информационно-логические модели;
- информационно-логические и математические (количественные) модели;
- информационно-логические, математические (количественные) и интеллектуальные модели – применяется для единого («сквозного») системного моделирования и прогнозирования процессов водоотведения.

Литература

1. 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, 28 сентября 2023 года. – Минск: УГЗ, 2023. – С. 20 – 21.
2. Практическое использование информационно-аналитической системы оценки экологической безопасности водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // Искусственный интеллект в Беларуси, Минск, 12-13 октября 2023 года / Объединенный институт проблем информатики. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 251 – 256.
3. 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.

4. Предиктивное управление процессом биологической очистки сточных вод на основе нейросетевого прогнозирования pH / В.Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. - 2024. - № 1 (133). - С. 149-155.

УДК 628.356

Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод

Панасюк Д. С., Бондарев В. В.,
Брестский государственный технический университет,
Брест, Республика Беларусь
Научный руководитель Акулич Т. И., старший преподаватель

На основании проведенных исследований показано, что при биологической очистке сточных вод наиболее распространенными мероприятиями по снижению энергопотребления являются замена аэрационной системы и воздуходувного оборудования. Задачей исследования стало изучение контрольно-измерительных приборов и системы аэрации аэротенков на примере действующих очистных сооружений канализации. Эффективным направлением оптимизации энергопотребления является автоматизация технологических процессов подачи воздуха.

Согласно литературным данным и опыту эксплуатации очистных сооружений, основное потребление электроэнергии в системах водоотведения связано с аэрацией сточной воды в аэротенках и составляет до 67–80 % от общего потребления электроэнергии [1]. Подача воздуха в аэротенки, являясь самым энергозатратным процессом, в тоже время является важной составляющей при биологической очистке. Наибольшее распространение для целей биологической очистки сточных вод получила пневматическая система аэрации, при которой воздух, нагнетаемый турбовоздуходувками, по системе воздуховодов подводится к аэрационной системе и посредством аэраторов равномерно насыщает иловую смесь.

В настоящее время наиболее распространенными мероприятиями по снижению энергопотребления являются замена аэрационной системы и замена воздуходувного оборудования. При замене аэрационной системы предпочтение отдается мелкопузырчатым мембранным аэраторам, которые