

# Очистные сооружения: как повысить безаварийность и оптимизировать эксплуатационные затраты

**М. М. Пукемо<sup>1</sup>,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ  
РТУ МИРЭА,  
ЭКСПЕРТ ЭТС РАВВ,  
ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА  
ДИРЕКТОРОВ КОМПАНИИ  
ALTA GROUP

**А. А. Кулаков<sup>2</sup>,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК,  
ДОЦЕНТ РТУ МИРЭА,  
КОНСУЛЬТАНТ ПО ОЧИСТНЫМ  
СООРУЖЕНИЯМ



Рассмотрены возможности прогнозирования аварийных ситуаций за счет управления очистными сооружениями на базе предиктивной диагностики. Современные системы автоматизации позволяют реализовать принципы удаленного технологического контроля, что оптимизирует эксплуатационные затраты и повышает надежность работы очистных сооружений. Комплексный мониторинг и анализ данных о функционировании оборудования, технологических параметрах и составе сточных вод позволяет создать модель эффективного управления объектом.

Надежность и безаварийность являются важными составляющими очистных сооружений (ОС) наряду с их технологической эффективностью. Выход из строя насосного и воздухоподводящего оборудования приводит к нарушению рабочего режима и требует в последствии длительного восстановления биологической системы.

Скорость реагирования на аварийные ситуации и их прогнозирование определяет величину экономических и экологических рисков обслуживающей организации. Системы автоматизации, предиктивная диагностика и удаленный технологический контроль позволяют сократить аварийность работы коммунальных комплексов.

<sup>1</sup> Пукемо Михаил Михайлович, e-mail: 2336122@alta-group.ru

<sup>2</sup> Кулаков Артем Алексеевич, e-mail: mail@artemkulakov.com

## СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ

Хорошо известно, что снижение аварийности на ОС достигается за счет следующих мероприятий:

- дублирование оборудования (создание резерва оборудования), закладываемого в проектные решения;
- создание комплекта ЗИП для оперативной замены ключевых деталей и оборудования очистных сооружений;
- формирования штата технического персонала для быстрого реагирования на аварийные ситуации с целью снизить продолжительность аварии;
- регулярной диагностики и обслуживанию оборудования.

В большинстве случаев насосное и воздухоудное оборудование резервируется на всю производительность рабочего агрегата.

Формирование комплекта ЗИП проводится исходя из следующих факторов:

- сроки поставки запасных частей или единиц оборудования;
- ремонтпригодность запчастей в условиях очистного сооружения, а также сроков ремонта оборудования;
- время, отведенное на ремонт (срок реагирования на выход из строя оборудования).

Время поставки и ремонта является ключевым фактором при формировании ЗИП, и чем меньше это время, тем обширнее будет ЗИП, а, следовательно, и его стоимость.

Эксплуатирующие организации формируют штат технического персонала исходя из фактора времени ремонта и требуемой квалификации персонала для ремонта оборудования. Если в ведении эксплуатирующей организации находятся ОС, удаленные друг от друга на значительные расстояния, в штат вводятся дополнительные единицы для обеспечения своевременного ремонта, что ведет к увеличению операционных расходов на очистку сточных вод.

## ДИАГНОСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ

Для обеспечения корректной работы оборудования проводят его регулярную диа-

гностику и обслуживание. Основными мероприятиями в этом направлении являются:

- регулярный регламентный визуальный осмотр оборудования;
- регулярный регламентный инструментальный контроль оборудования;
- непрерывная и дискретная автоматическая диагностика оборудования;
- непрерывная и дискретная автоматическая диагностика технологических процессов.

Качество диагностики оборудования напрямую зависит от квалификации работника. Персонал, осуществляющий диагностику, должен пройти соответствующую профильную подготовку.

Автоматическая диагностика оборудования позволяет снизить влияние человеческого фактора на качество диагностики и своевременность ее проведения. Качество автоматической диагностики напрямую зависит от проектных решений АСУ, качества и количества диагностических сенсоров, вычислительных мощностей, обрабатывающих данные, поступающие на анализ.

Основным оборудованием на очистных сооружениях, которое может выйти из строя, является электрооборудование. Зачастую визуальная диагностика корректности работы этого оборудования затруднена. Часть его находится в затопленном состоянии, например, насосы и мешалки. Определить при регулярном инспекционном осмотре визуально, корректно или нет работает оборудование возможно только когда оно уже вышло из строя.

Еще одной распространенной проблемой является гибель или деградация биоценоза, что может характеризоваться его загниванием, формированием «черного ила», всплываем и выносом биомассы из вторичных отстойников. Причиной может быть выход из строя циркулирующих насосов, воздухоудов, нарушение эксплуатационных и технологических параметров. Как результат – ухудшение качества очищенной воды, неприятный запах от сооружений и потребность в длительной восстановительной работе.

Зачастую поломка оборудования диагностируется тогда, когда уже наступила ава-

рийная ситуация и очевидно, что очистные сооружения перестали работать должным образом. После этого начинается поиск причины проблемы.

Вывод – визуальный подход менее эффективен, чем предиктивный (предсказывающий) (рис. 1), а предупредить аварию всегда проще, чем ее устранять.



**Рис. 1. Подходы к диагностике работы оборудования: А – визуальный, Б – предиктивный**

Основной задачей предиктивной диагностики является прогнозирование выхода оборудования из строя, выигрыш времени. Она базируется на получении сигнала, характеризующего возможные неисправности оборудования до его поломки. Это позволяет переключиться на резервные агрегаты и провести необходимые работы по предотвращению выхода оборудования из строя.

Диагностические сигналы можно разделить на два типа:

- критические (выход из строя оборудования, «зауставочные» значения технологических параметров);
- некритические (анализ, прогнозирование).

Критические ошибки должны быть обработаны управляющим устройством быстро и надежно, поскольку от своевременности реагирования на критические сигналы диагностики будет зависеть размер ущерба, сохранность оборудования и т. д.

Некритические сигналы целесообразнее обрабатывать в дата-центрах, где будет обеспечена должная архитектура для надежного хранения данных, вычислительные мощности достаточной производительности для оперативной обработки большого массива информации, бесперебойный доступ к данным и их анализ. Безусловно, набор оборудования с перечисленными характеристиками можно собрать и на объекте, но экономически это будет не выгодно.

Сама суть дата-центров заключается в том, что они предоставляют услугу такого качества, которую пользователи сами не могут обеспечить за ту стоимость, которую они платят за пользование сервисом.

## ДАННЫЕ И ИХ ОБРАБОТКА

При эксплуатации очистных сооружений осуществляется обработка основных групп данных:

- Расход потока (сточные воды, осадок): расходомеры.
- Состав потока (сточные воды, возвратные потоки): лабораторный анализ, портативные и стационарные анализаторы состава, переносные лабораторные комплексы.
- Технологические параметры работы ОС (дозы ила, растворенный кислород, уровень осадка и др.): датчики и анализаторы, лабораторные анализы на месте.
- Параметры работы оборудования (потребляемый ток, давление, температура, вибрации, частота вращения): комплекс встроенных и внешних датчиков.

Расход поступающих и очищенных сточных вод может контролироваться за счет ультразвуковых расходомеров. При наличии нескольких технологических линий актуальным является контроль расхода на каждой из них, что дает возможность гибкого управления нагрузкой в периоды запуска и эксплуатации ОС. Для оценки расхода на циркулирующих и возвратных потоках они также могут оснащаться приборами учета, что позволит получать данные о фактических величинах данных потоков.

Оценка состава сточных вод осуществляется за счет электрохимических и оптических датчиков, а также реагентных анализаторов по основным технологическим показателям: рН, температура, ВВ, ХПК, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты. Подобный набор параметров может включаться в комплексные системы контроля [1].

Технологический контроль работы сооружений ведется по широкому спектру параметров, некоторые могут сниматься

автоматизированными методами (доза ила, КРК, температура, уровень осадка), часть – определяться в рамках плановых выездов сервисных бригад. Важным является визуальный контроль работы некоторых узлов, что может осуществляться оператором и/или за счет современных систем видеонаблюдения.

Комбинирование методов контроля позволяет увеличить достоверность и скорость получения информации, оптимизировать трудозатраты на обслуживание сооружений.

Параметры работы оборудования снимаются автоматически, собираются в базы данных для анализа и принятия решений.

Ключевой метрикой для электрооборудования является потребляемый ток. Систематически измеряя и анализируя потребляемый электрооборудованием ток, возможно заблаговременно предсказать отклонение текущих режимов работы оборудования от проектных. Базовой предиктивной диагностикой является выявление системного роста показаний тока, что может являться причиной потенциальной проблемы. Например, в случае засора отводящей трубы ток, потребляемый подающим жидкость насосом, изменится. Получив предупреждение от автоматической диагностической системы, которая сравнивает текущие показате-

ли потребляемого тока с проектными, возможно направить бригаду для устранения неисправности, прочистить трубу, избежать поломки насосного агрегата, а также предотвратить аварию и выход очистных сооружений из проектного технологического режима. Засорения всосов насосов и лопастей мешалок (рис. 2) также могут диагностироваться по показателям тока.

Информация о давлении в пневмотрассе воздухопроводов может применяться как метод диагностики разрывов на сети, засорения воздушных фильтров, изменения сопротивления в пневмотрассе, заиливания аэрационных систем.

Большие возможности дают системы измерения уровня в емкостных сооружениях. Они позволяют отслеживать объем жидкости в усреднителе, камерах, емкостях реагентов. Своевременное информирование о снижении запаса реагентов позволяет включить систему его приготовления (в случае полуавтоматических систем), отслеживать фактический расход реагента и определять эффективность его использования. Это наиболее актуально для систем реагентного удаления фосфора, а также для дозирования внешнего субстрата при дефиците органических веществ для денитрификации (подробнее см. [2]).

Рис. 2. ЗАСОРЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ МУСОРОМ



# ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

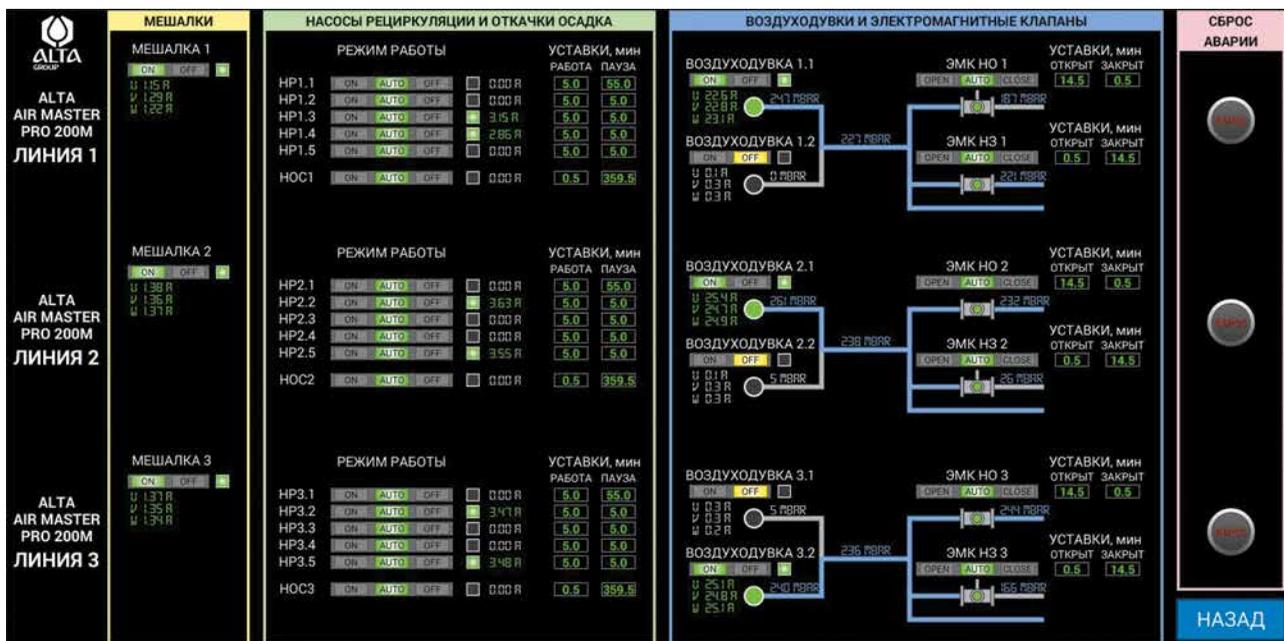


Информация о рабочем уровне в усреднителе позволяет владеть оперативными данными в случаях возникновения аварийных ситуаций, а также при понимании динамики притока сточных вод на объект и возможностях регулирования потока. На рис. 3 приведены примеры реализации системы измерения уровня жидкостей. На рис. 4 показана визуализация автоматизированной системы управления ОС. На рис. 5 приведен пример колебания расходов поступающих сточных вод.

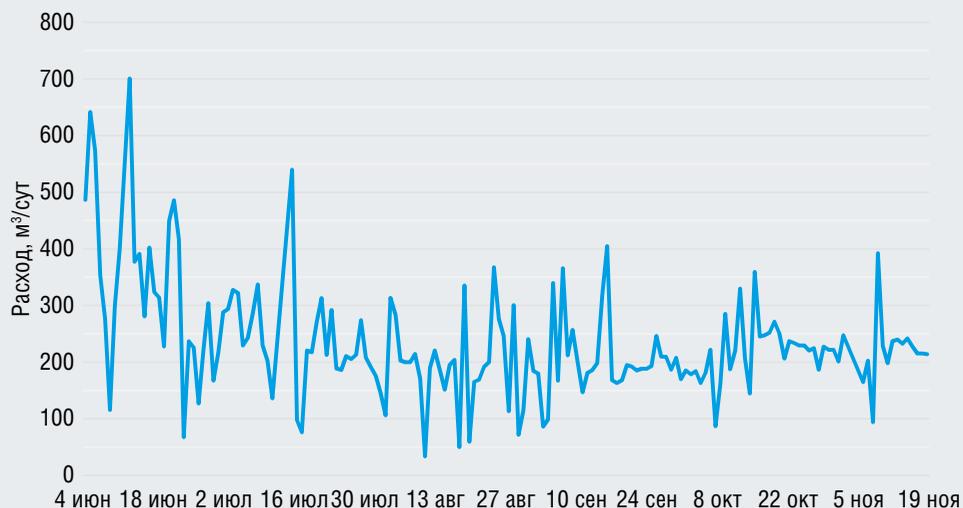
В табл. 1 приведены параметры и точки контроля при эксплуатации очистных сооружений с высоким потенциалом автоматизации. В табл. 2 даны примеры реализации принципов удаленного технологического контроля на различных объектах.

**Рис. 3. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В УСРЕДНИТЕЛЕ (ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК УРОВНЯ)**

**Рис. 4. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОС**



**Рис. 5. Расход поступающих сточных вод**



**Таблица 1. Потенциал технологического контроля очистных сооружений**

Точка контроля	Параметры контроля	Диагностика
<b>Состав потока</b>		
Вход	ВВ, ХПК, азот аммонийный, общий азот, фосфаты, рН, температура	Нагрузка на ОС, потенциал очистки, потребность в корректировке рН и температуры
Выход	ВВ, ХПК, азот аммонийный, нитриты, нитраты, фосфаты, рН	Эффективности работы ОС
Возвратные потоки	ВВ, ХПК, азот, фосфор	Нагрузка от возвратных потоков
Рециклы	нитриты, нитраты	Параметры денитрификации
<b>Технологические параметры</b>		
Первичный отстойник	Уровень осадка	Потребность в сбросе осадка
Вторичный отстойник	Уровень ила	Потребность в изменении параметров (сброс избыточной биомассы, изменение рециклов)
	Вынос ВВ	Эффективность отделения биомассы
Биологическая очистка	Объемная доза ила	Окислительная мощность ОС
	Доза ила (через ВВ)	Окислительная мощность ОС, оценка фактического прироста биомассы
Фильтрат/фугат	КРК	Кислородный режим в денитрификаторе, нитрификаторе; достаточность/избыточность аэрации
	ВВ	Эффективности обезвоживания
Обезвоженный осадок	Влажность осадка	Эффективности обезвоживания
Реагентное хозяйство	Расход реагентов (коагулянт, флокулянт и др.)	Оценка эффективности процессов реагентной обработки (в совокупности с параметрами работы соответствующих узлов)
<b>Параметры оборудования</b>		
Доочистка	Давление до и после фильтров	Загрязненность фильтров, потребность в промывке
Воздуходувки	Давление на входе и выходе	Засоренность воздушных фильтров, проблемы в воздушной трассе
Воздуходувки, насосы, насосы-дозаторы	Потребляемый ток	Нормальный режим работы оборудования, потребность в техобслуживании
Емкостное оборудование	Датчики уровня – сигнализация фактического уровня	Фактический объем жидкостей, потребность в пополнении, режим работы усреднителя и др.

# ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Таблица 2. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ УДАЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Анализируемые данные	Москва, госпиталь, 1200 м <sup>3</sup> /сут	Красноярский край, поселок, 400 м <sup>3</sup> /сут	Рязанская область, поселок, 100 м <sup>3</sup> /сут	Рязанская область, поселок, 400 м <sup>3</sup> /сут	Рязанская область, поселок, 200 м <sup>3</sup> /сут
Расход сточных вод на входе общий	+	+	X	+	X
Расход сточных вод по технологическим линиям	+	+	X	X	X
Расход сточных вод на выходе	+	+	+	+	+
Потребляемый ток по каждой фазе для технологического оборудования, с возможностью внесения изменения в настройки аварийных сигналов и отключений по максимальному и минимальному току, межфазной дельте	+	+	+	+	+
Температура сточных вод на входе в КОС и в биореакторах	+	+	+	+	+
Температура воздуха: на улице и в технологических помещениях с возможностью внесения изменения в настройки аварийного реагирования оборудования в зависимости от температуры окружающего воздуха (отключение воздуходувок при превышении критической температуры)	+	+	+	+	+
Динамические уровни жидкости в усреднителе, изменение уровней, переключение устройств контроля уровней (поплавоквые выключатели – гидростатический датчик уровня)	+	+	X	X	X
Уровни жидкости в камере чистой воды, в емкостях реагентного хозяйства	+	+	+	+	+
Режим работы насосов дозаторов: автоматическое дозирование по общему номиналу или по реальному расходу, режим выкл, сервисный режим	+	+	+	+	+
Фактический расход реагентов	+	+	+	+	+
Давление в пневматической системе: вакуумметрическое на всасе воздуходувок, на выходе из воздуходувок, на каждой из технологических линий подачи воздуха, с возможностью внесения изменения в настройки аварийного реагирования оборудования в зависимости от давления	+	+	+	+	+
Давление в гидравлической системе блока доочистки: общее на выходе из насосов, на входе в напорные фильтры, на выходе из напорных фильтров, с возможностью внесения изменения в настройки аварийного реагирования оборудования в зависимости от давления	+	+	+	+	+
Изменение режимов работы технологического оборудования, насосы КНС, насосы рециркуляции, электромагнитные клапаны пневматической системы	+	+	+	+	+
Фиксирование и хранение ошибок. Перегрузка ШУ по питанию. Контроль подводящего питания. Опрос устройств в цепи RS-485. Состояние приборов DOT: температура, ошибки, неисправности. Моточасы технологического оборудования	+	+	+	+	+
Концентрация растворенного кислорода в реакторах биологической очистки. Концентрация остаточного хлора в очищенных сточных водах	+	X	X	X	X
Режим работы греющих кабелей, с возможностью управления и изменения настроек: температура автоматического срабатывания, принудительное включение/отключение, настройка гистерезиса	X	+	+	+	+

## Принцип эффективного управления ОС

Сбор и анализ информации по объекту формирует базу данных, которая становится основой для управления очистными сооружениями (рис. 6).

Сбор анализируемых параметров позволяет оценивать динамику их изменения во времени, находить закономерности и выявлять зависимости. Определив снижение эффективности очистки или негативное изменение технологических параметров, есть возможность произвести изменения управляемых параметров и оценить результат. Подобные итерации и адаптации модели позволяют определить фактические рабочие параметры для объекта при изменяющихся входных параметрах. Пример базы данных и управления работой очистных сооружений в условиях изменяющейся нагрузки описан в [3].

Принцип удаленного управления объектом (рис. 7) подразумевает создание центра управления, где квалифицированные технологи принимают решения на основе анализа баз данных и результатов аудита объектов. Сервисные бригады в составе инженеров, операторов и лаборантов осуществляют плановые выезды на объекты для сбора допол-

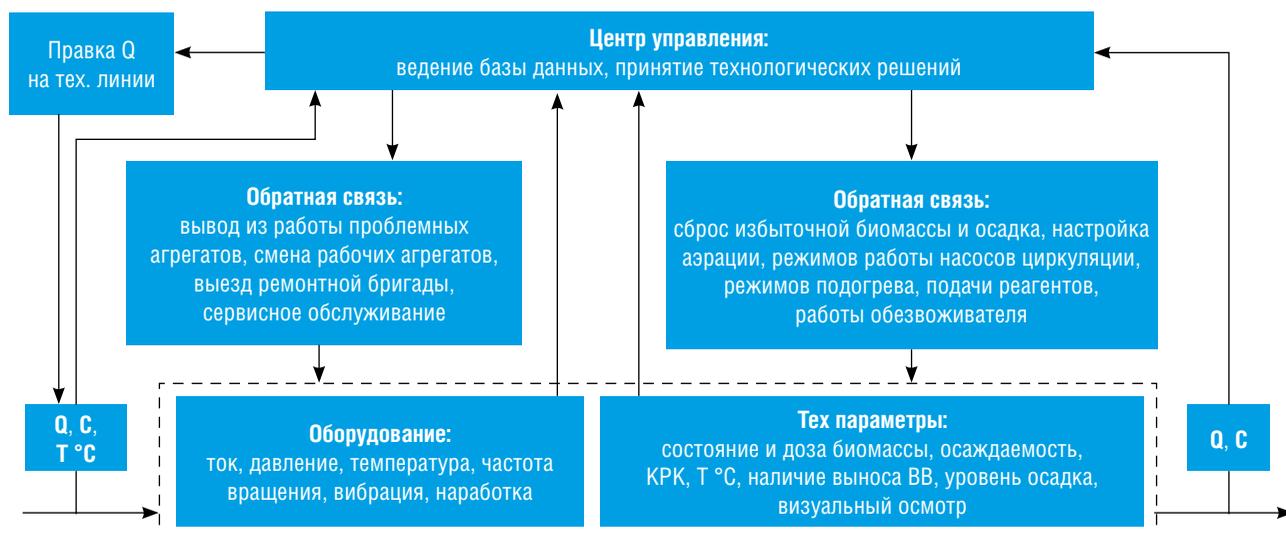
нительных данных и проведения сервисного обслуживания. При этом присутствие постоянного персонала на объекте обеспечивается лишь в случаях обоснованной необходимости.

При выявлении нарушений в работе оборудования из центра управления дается сигнал на необходимость выезда сервисной бригады и проведение техобслуживания объекта.

Принципы предиктивной диагностики и удаленного управления ОС позволяют добиться следующих результатов.

- Создание единой квалифицированной команды управления, обслуживающей группу коммунальных объектов.
- Повышение эффективности управления объектами коммунальной инфраструктуры.
- Рост качества техобслуживания объектов.
- Сокращение периодов реагирования на штатные и нештатные ситуации, повышение надежности работы коммунальных объектов.
- Оптимизация (снижение) эксплуатационных затрат (ФОТ, транспортные расходы, плата за сброс загрязняющих веществ).
- Уменьшение времени простоя оборудования и получение дополнительного дохода от реализации продукта.

**Рис. 6. Модель управления очистными сооружениями: Q – расход потоков, С – концентрации в потоках, T °C – температура жидкости, КРК – концентрация растворенного кислорода**



## Выводы

Предиктивная диагностика неисправностей оборудования и плановый ремонт более экономичный инструмент, чем устранение аварии и ее последствий.

Современные системы автоматизации позволяют определять большой перечень показателей состава сточных вод и технологических параметров работы очистных сооружений. Формирование баз данных и их интеллектуальная обработка способствует организации эффективной эксплуатации с высоким уровнем планирования. Потребляемый оборудованием ток позволяет заблаговременно прогнозировать его выход из строя, данные о фактическом уровне в емкостном оборудовании дает полную картину о режимах работы усреднителей и реагентного хозяйства. Увязка эффективности очистки сточных вод и параметров технологического контроля позволяет выявлять факторы нарушения проектных режимов работы и в будущем их прогнозировать.

Комплексное удаленное управление, базирующееся на предиктивной диагностике, позволяет обеспечить эффективную эксплуатацию в штатном режиме и выиграть время при нештатных ситуациях на объекте. ●

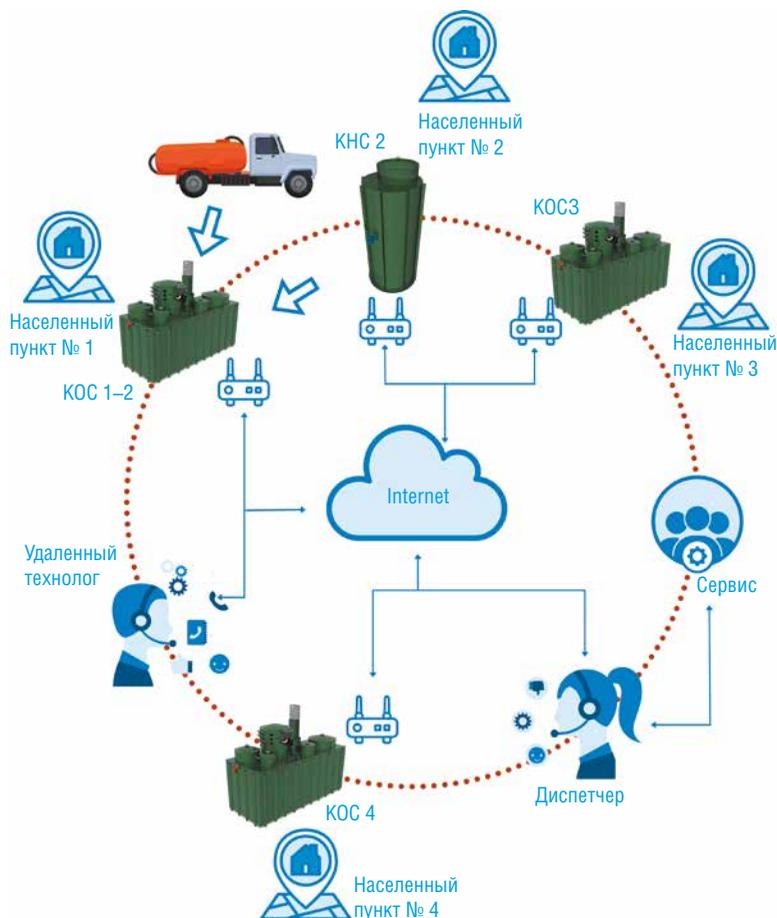


Рис. 7. Схема удаленного управления ОС

## ЛИТЕРАТУРА

1. Платонов М. М. Обзор средств измерений для организации систем автоматического контроля сбросов загрязняющих веществ в сточных водах очистных сооружений водоканалов // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 4. С. 7–22.
2. Пукемо М. М., Кулаков А. А., Желтухин Р. В. Особенности очистки сточных вод больницы // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 4. С. 15–24.
3. Кулаков А. А. Управление работой малых канализационных очистных сооружений в условиях нестабильной нагрузки // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 4. С. 46–56.