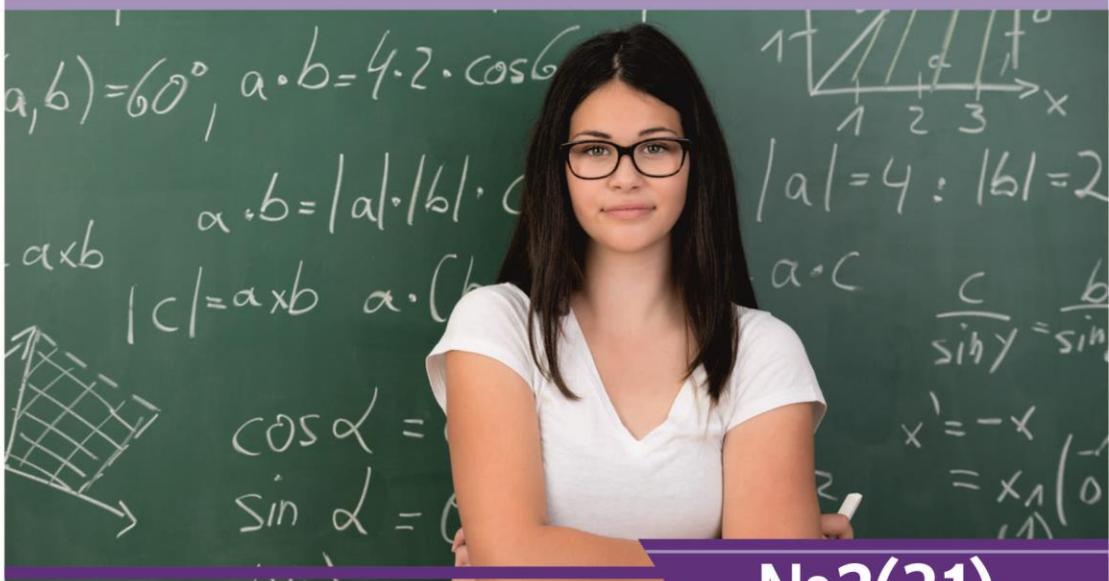




НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№2(31)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2020



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXXI международной
научно-практической конференции*

№ 2 (31)
Февраль 2020 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2020

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXXI междунар. науч.-практ. конф. – № 2 (31). – М.: Изд. «МЦНО», 2020. – 38 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2020

Оглавление

Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Информатика, вычислительная техника и управление	4
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ИЮТ-УСТРОЙСТВ ОТ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ Весёлин Дмитрий Игоревич Хамидов Исмоил Саъдуллоевич Зоиров Акбар Амирхонович Мартынов Владимир Александрович	4
1.2. Строительство и архитектура	12
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЕТАНТЕНКОВ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ВЛАДИМИР Смирнова Алёна Романовна	12
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАНТЕНКОВ Смирнова Алёна Романовна	23
Раздел 2. Математика	31
2.1. Вещественный, комплексный и функциональный анализ	31
ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ВОЗМУЩЕННОГО ОПЕРАТОРА ШТУРМА-ЛИУВИЛЛЯ Гасымова Айнура Рамазан	31

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ИЮТ-УСТРОЙСТВ ОТ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ

Весёлин Дмитрий Игоревич

*магистрант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

Хамидов Исмоил Саъдуллоевич

*магистрант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

Зоиров Акбар Амирхонович

*студент, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

Мартынов Владимир Александрович

*студент, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

RECOMMENDATIONS FOR PROTECTING IOT DEVICES FROM THREATS AND VULNERABILITIES

Dmitry Vesulin

*Undergraduate student,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Ismoil Khamidov

*Undergraduate student,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Akbar Zoirov

*Student,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Vladimir Martinov

*Student,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Аннотация. Устройства IoT («Интернет вещей»), в настоящее время, все чаще становятся жертвами атак, так как заражать их легче, чем обычные компьютеры. Это связано с некоторыми причинами, такие как наличие устаревших устройств без обновлений безопасности, низкий приоритет в цикле разработки по отношению к безопасности, слабые учетные данные и т. д. Мы продвигаем две ключевые концепции: безопасность по дизайну и конфиденциальность по дизайну. Эти понятия означают, что безопасность и конфиденциальность должны быть встроены в ядро любой системы, а не добавляться в качестве запоздалого решения. В этой статье мы рассмотрим причины уязвимостей и опишем систему IoT, разработанную с учетом конфиденциальности и безопасности, и покажем, как это влияет на выбор и подходы к проектированию.

Abstract. Nowadays IoT devices are increasingly becoming victims of attacks, because it is easier to infect them than regular computers. It caused by some reasons, such as the presence of obsolete devices with no security updates, low priority is given to security in the development cycle, weak credentials, etc. We are promoting two key concepts: security by design and privacy by design. These concepts mean that security and privacy should

be built into the core of any system, and not added as a tardy solution. In this article, we will examine the causes of vulnerabilities and describe an IoT system that designed with confidentiality and security in mind and show how this affects the choice and design approach.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT); Архитектура; Безопасность и Защита; Атаки.

Keywords: Internet of Things (IoT); Architecture; Security and Privacy; Attacks.

Введение

Интернет вещей (IoT) [1] - это сеть сетей, состоящих из уникально идентифицируемых объектов («вещей»), способных взаимодействовать друг с другом без вмешательства со стороны человека, через IP-подключение. Уже подсчитано, что IoT-устройств больше, чем людей, и прогнозы роста предсказывают огромное количество дешевых устройств, соединяющих физический мир с Интернетом. С такими расширенными возможностями атаки злоумышленников становятся частым явлениям, вследствие чего необходимо перейти на другую модель, в которой безопасность основана на идентичности и доверии, а не на границах.

Уровни безопасности IoT

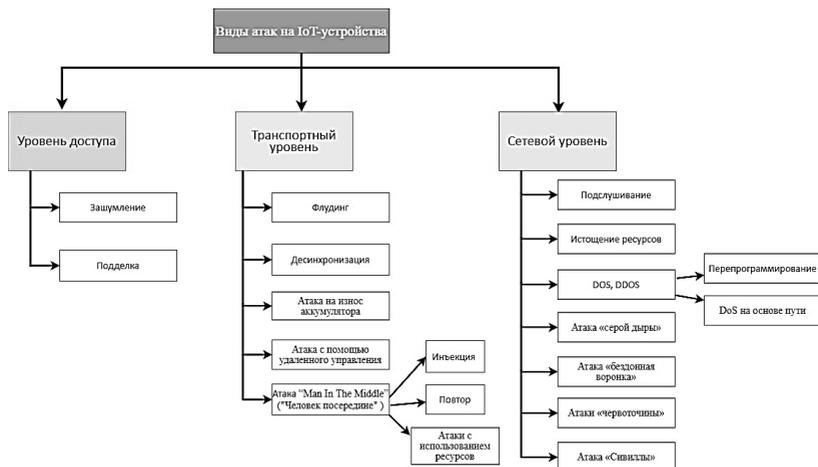


Рисунок 1. Виды атак на устройства «Интернета вещей» в зависимости от уровня

Уровень доступа

Это первый уровень, который состоит из физических датчиков и исполнительных механизмов устройств IoT для определения окружающей среды и сбора информации. Распространенная атака на этом уровне - зашумление и подделка. При атаке с помехами злоумышленник нарушает работу сети, зашумляет канал, используя высокочастотные радиосигналы [2]. Иногда злоумышленник может атаковать любой сенсорный узел, чтобы заблокировать всю сеть, что приводит к атаке типа «отказ в обслуживании» (DoS) или «распределенный отказ в обслуживании» (DDoS). В настоящее время киберпреступники используют интеллектуальные методы для запуска атак с целью подавления помех, чтобы избежать различных защитных мер, таких как Intrusion Prevention System (Система предотвращения вторжений). Для защиты от таких атак система мониторинга различает помехи и реальную передачу, где потребляемая энергия проверяется каждый раз, чтобы убедиться, что это не атака [3].

Транспортный уровень

Этот уровень контролирует сквозное шифрование; и он в основном сталкивается с двумя типами атак: флудингом и десинхронизацией [4]. При атаке флудинга, ресурсы памяти устройств расходуются путем повторного распространения управляющего сигнала. При десинхронизированной атаке злоумышленник прерывает полностью установленную линию связи между двумя подлинными конечными узлами путем повторной синхронизации (бесконечный цикл) их передачи. Это нарушает коммуникационные и исчерпывающие ресурсы сети. Такой тип атак приводит к изменению и снижению производительности сети. Другие атаки на этом уровне:

1) Атака на разрядку аккумулятора: происходит из-за большего потребления энергии при обработке таких задач, как передача, обслуживание и прием данных. Злоумышленник вводит вредоносные коды обработки, чтобы продлить задачу, иногда делая устройство неэффективным. IDS (Система обнаружения вторжений) контролирует уровень заряда батареи устройства и оценивает требования к питанию для каждой задачи [5]. Когда потребляемая мощность превышает предполагаемое пороговое значение, запускается предупреждение, которое завершает задачу, чтобы избежать разрядки батареи. Однако IDS, спроектированный с использованием одной или двух функций, не способен выявить другие атаки и требует настройки в соответствии с атакой.

2) Атака с помощью удаленного управления: в этой атаке злоумышленник пытается перехватить связь между двумя сторонами, используя бот-сети или атаку «человек посередине» (MITM), чтобы

получить полный контроль над устройством [6]. В некоторых случаях злоумышленник может запустить DoS-атаку, чтобы нарушить работу ресурсов или всего устройства. Такая атака может привести к разрушительным последствиям для носимых датчиков или медицинских устройств IoT. Исследователи разработали подходы для защиты от атак с использованием удаленного управления, включив безопасность транспортного уровня (TLS) и защиту транспортного уровня дейтаграмм (DTLS) для Constrained LLN на основе протокола приложений (CoAP) [7]. CoAP является широко используемым протоколом в LLN. Тем не менее, в настоящее время появилось много других протоколов для сетей IoT, таких как MQ Telemetry Transport (MQTT), который потребляет меньше энергии устройств.

3) Атака «Человек посередине» (MITM): слабые меры безопасности дали злоумышленникам простой способ перехватывать ресурсы сенсорных устройств. Злоумышленник может манипулировать или удалять информацию, нарушая целостность, что может привести к различным атакам: DoS, несанкционированный доступ для подделки данных, инъекция ложной информации (аутентичность), истощение ресурсов и атака инъекцией [8]. При атаке MITM злоумышленник переключается между двумя взаимодействующими устройствами, устанавливая канал связи и заверяя их в качестве авторизованного, отправляя информацию обоим и отключая их исходный канал связи. Это позволяет злоумышленнику получать данные пользователя неэтичным способом. Эффективные решения для таких атак включают систему аутентификации и IDS с использованием машинного обучения, которые дают приемлемую точность для защиты от этих атак [9].

Сетевой уровень

Этот уровень использует различные технологии, такие как радиочастотная идентификация (RFID), правила полетов по приборам (IFR), 3G, GSM, BLE, универсальная система мобильной связи (UMTS), WiFi, ZigBee и т. д. Связь в IoT-устройствах происходит путем маршрутизации и подвержена различным атакам [10]. Маршрутные атаки включают в себя спуфинг, выборочную переадресацию, изменение маршрутов маршрутизации или повторное воспроизведение пакетов, атака «червоточины», атака «Сивиллы» и т. д. Эти атаки могут привести к угрозам DoS:

1) Подслушивание: во время передачи данных от узла датчика к шлюзу или серверу, данные могут быть перехвачены. Злоумышленник обнаруживает информацию пользователя и воспринимает идентификатор сообщения, временные метки; адрес источника и пункта назначения, который приводит к серьезному нарушению конфиденциальности.

Тем не менее, существует множество решений, и новейшая структура для защиты от прослушивания с использованием Visible Light Communication (VLC) является многообещающим решением для IoT [11].

2) Атаки с использованием ресурсов: злоумышленник пытается использовать целые сервисы и ресурсы приложения. Эта группа включает в себя разного рода атаки. Например, при коллизионной атаке злоумышленник отправляет пакеты с одинаковой частотой одновременно, что приводит к коллизии и снижению производительности сети. Это манипулирует заголовком фрейма так, что происходит несовпадение контрольной суммы, что приводит к отбрасыванию кадров данных в конечной точке. Атака истощения происходит, когда канал непрерывно активен в течение длительного времени для разряда батареи [12]. Этот вид атаки приводит к отказу в предоставлении услуг и функциональности конечным пользователям. Эти атаки могут быть смягчены с помощью аналогичных решений по исчерпанию заряда батареи и на транспортном уровне.

3) Атака «серой дыры»: в многокочкаковой среде передача данных происходит от одного узла к другому узлу в несколько этапов [13]. В этом процессе узел пересылает пакеты к месту назначения (шлюз). Перед пересылкой пакетов злоумышленник может ввести маршрут в заблуждение или внедрить вредоносный код для дальнейшей передачи и инициирования цикла маршрутизации. Такая активность представляет собой атаку «серой дыры», при которой пакеты могут заикликоваться бесконечно ухудшается производительность сети.

4) Атака «бездонная воронка»: в этом типе вредоносный узел перекликается с соседними узлами, чтобы создавать маршруты с помощью вредоносного кода. Как только злоумышленник скомпрометирует систему, эта атака создает открытую дверь для других атак. Очень трудно обнаружить воронку, только выборочной переадресацией и прослушиванием атак в сети. Подобно этому, атака «Сивиллы» - в сети присутствует фальсифицируемый узел с обманом нескольких поддельных идентификаторов соседних узлов. Эта атака также происходит в IoT-устройствах, незаконный узел ведет себя как подлинный узел в сети, и он отправляет ложную информацию в удаленную зону, запрашивающий лечение [13].

5) Атака червоточины: злоумышленник пересылает пакеты от устройства и выпускает их в другое место через туннель (червоточина). Почти невозможно обнаружить или остановить эти типы атак в сеть с использованием встроенных мер безопасности.

6) Атаки типа «отказ в обслуживании»: отказ в обслуживании может повлиять на данные, производительность сети и надежность в целом сеть. Существует два типа DoS-атак:

а) перепрограммирование атаки: относится к изменению или модификации исходного кода. Приложение становится недоступным, и иногда оно входит в бесконечный цикл, делая сервис/ресурс недоступным для запрашивающей стороны. Надежная аутентификация, надежный доступ механизм управления и непрерывный мониторинг является рекомендуемым решением для защиты от такого рода атак [13].

б) DoS на основе пути: многочисленные пакеты воспроизведения или ложно внедренные пакеты переполняет узел датчика [14].

Исследователи предлагают защитный подход, основанный на максимальной величине каждого уровня промежуточного программного обеспечения, для обработки DoS / DDoS-атак такого типа. Устанавливается пороговая емкость запросов. Система проверяет количество запросов, и если этот параметр превышает, то он запускает оповещение в сети и блокирует запрос. Кроме того, последние IDS подходы с использованием Машинное обучение (ML) и SDN оказались эффективными в блокировании многих DoS-атак [14].

Принципы безопасности IoT

Набор ключевых принципов безопасности и конфиденциальности IoT:

- Каждое устройство нуждается в уникальных учетных данных;
- Поддержка простых процедур обновления;
- Публикация ограниченного количества данных и не более;
- Необходимо согласие на обмен данными, а также предоставлять пользователям четкое представление о том, какие данные публикуются и хранятся от их имени;
- Не предоставлять необработанные данные от датчиков, которые могут быть выложены;
- Подход к защите метаданных, как к обычным данным;
- Остерегайтесь радио- и других сканирующих атак;
- Отделять потоки безопасности от потоков данных.

Список литературы:

1. Кучерявый А.Е. Стандартизация IoT // Электросвязь. — 2016. — № 9. — с. 10. — ISSN: 0013-5771 / [ВАК, РИНЦ].
2. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013, 160 с.
3. Hendriks S. (2016). Internet of Things: how the world will be connected in 2025 (Master's thesis).
4. Perera C. and etc. Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2014, V.16, Issue 1, pp. 414-454.

5. Zhang Baoquan, Zou Zongfeng, Liu Mingzheng, Evaluation on security system of internet of things based on Fuzzy-AHP method, E -Business and E -Government (ICEE), 2011 International Conference on 2011, pp. 1 - 5. DOI = 10.1109/ICEBEG.2011.5881939.
6. Khan R. [and others], Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges, Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on, 2012, pp. 257 - 260.
7. Tabassum Aliya, Aiman Erbad, and Mohsen Guizani. "A Survey on Recent Approaches in Intrusion Detection System in IoTs." 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). IEEE, 2019.
8. Erpek Tugba, Yalin E. Sagduyu, and Yi Shi. "Deep learning for launching and mitigating wireless jamming attacks." IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking 5.1 (2018): 2-14.
Arias O, Wurm J, Hoang K, Jin Y. Privacy and security in internet of things and wearable devices. IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems. 2015 Apr 1; 1(2):99-109.
9. Liu Xiangyu, et al. "SecLight: A New and Practical VLC Eavesdropping-Resilient Framework for IoT Devices." 2019, IEEE Access 7 (2019): 19109-19124.
10. Nobakht Mehdi, Vijay Sivaraman, and Roksana Boreli, A host-based intrusion detection and mitigation framework for smart home IoT using OpenFlow, 11th International conference on availability, reliability and security (ARES). IEEE2016.
11. Stroeh Kleber, Edmundo Roberto Mauro Madeira, and Siome Klein Goldenstein, An approach to the correlation of security events based on machine learning techniques, Journal of Internet Services and Applications 4.1, 2013.
12. Rajesh Sreeja, et al. "A secure and efficient lightweight symmetric encryption scheme for transfer of text files between embedded IoT devices." Symmetry 11.2 (2019): 293.

1.2. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЕТАНТЕНКОВ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ВЛАДИМИР

Смирнова Алёна Романовна

*студент института архитектуры строительства и энергетики,
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
РФ, г. Владимир*

Аннотация. В работе рассмотрены сооружения для сбраживания осадков – метантенки. Приведена существующая схема очистки сточных вод г. Владимир с перечнем сооружений. Представлен расчет и проектирования метантенков для очистных сооружений г. Владимир в связи с преимуществами добавления данных сооружений в технологическую схему. Приводится сравнение двух режимов сбраживания. Предложена модернизированная схема очистки сточных вод.

Abstract. Structures for fermentation of sediments - methane tanks are considered in the work. The existing scheme of waste water treatment in Vladimir with the list of structures is presented. The calculation and design of methane tanks for treatment facilities in Vladimir is presented in connection with the advantages of adding these facilities to the process diagram. The two fermentation modes are compared. A modernized wastewater treatment scheme is proposed.

Ключевые слова: технология; сточные воды; органические вещества; очистка воды; очистные сооружения; метантенк; биогаз; метановое сбраживание; расчет.

Keywords: technology; wastewater; organic substances; water purification; treatment facilities; methane tank; biogas; methane fermentation; calculation.

Значение систем водоотведения как в экологическом аспекте, так и в экономическом воздействии трудно переоценить. Системы водоотведения призваны устранять последствия негативных воздействий сточных вод на окружающую природную среду. Системы отведения стоков, которые правильно спроектированы и построенные, при нормальном режиме эксплуатации позволяют своевременно отводить огромные количества объемов сточных вод. В результате нормального режима

эксплуатации уменьшается количество аварийных ситуаций со сбросом стока в водные объекты. Это позволяет уменьшить затраты на охрану окружающей среды, а также избежать катастрофического ее загрязнения. Система водоотведения города Владимира представляет собой сложный комплекс инженерных сооружений и технологических процессов. Этот комплекс можно разделить на три главных составляющих:

- это организация сбора и транспортировки хозяйственно-бытовых сточных вод от населения и предприятий. Осуществляется по самотечным и напорным коллекторам на очистные сооружения канализации;
- это механическая и биологическая очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на очистных сооружениях канализации г. Владимира;
- и наконец, это обработка и утилизация получаемых осадков сточных вод.

Очистные сооружения канализации с выпуском стоков в реку Клязьма находятся ниже города Владимир, в пойме реки. Сточные воды, которые поступают на очистные сооружения канализации, содержат бытовые стоки (в процентном соотношении примерно 68%) и промышленные стоки (32%).

Проектная производительность очистных сооружений канализации г. Владимир составляет 150 000 м³/сутки. [1]

Таблица 1.

Распределение расхода сточных вод

Год	Суточный расход м ³ /сут			Часовой расход м ³ /час			
	Сред.	Мах	Мин.	Сред.	Мах в дожди	Мин.	Мах в сухую погоду
2017	98 873	215 100	69 400	4 120	10 700	1 500	7 000
2018	91 280	177 700	59 800	3 803	12 000	1 400	7 700
2019	82 922	178 900	58 900	3 455	11 500	1 100	6 700

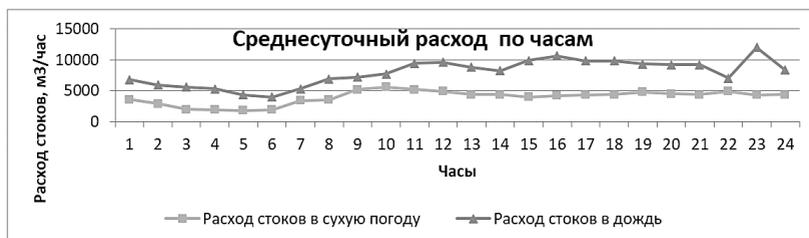


Рисунок 1. График распределения расхода сточных вод

Технологический процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации состоит из следующих последовательных операций:

- первоначальное смешение поступающих на очистные сооружения сточных вод;
- последующая механическая очистка сточных вод от загрязнений;
- последующая биологическая очистка стоков;
- процесс дезинфекции очищенных сточных вод;
- процесс обработки осадков сточных вод.

Таблица 2.

**Состав сооружений, предусмотренный для проведения
полной биологической очистки стоков на очистных сооружениях
г. Владимир**

Наименование	Кол-во
камера смешения	1 ед.
приемная камера решеток	1 ед.
решетки	4 ед.
песколовки горизонтальные	4 ед.
лоток Паршаля	1 ед.
первичные радиальные отстойники с насосной станцией сырого осадка	3 ед.
азротенки 4-х коридорные	3 ед.
вторичные радиальные отстойники	4 ед.
контактные каналы	2 ед.
песковые площадки	2 ед.
жировая площадка	1 ед.
площадка компостирования	2 ед.
иловые площадки	14 ед.
насосно-воздуходувная станция	1 ед.
илоуплотнители радиального типа	2 ед.
цех механического обезвоживания осадка	1 ед.
дренажная насосная станция на иловых картах	1 ед.

Городские канализационные очистные сооружения города Владимира. Существующее положение.
Экспликация зданий и сооружений

№ п/п	Наименование	№ п/п	Наименование	№ п/п	Наименование	№ п/п	Наименование
1	Прямая камера 1-го ряда	001	Вспомогательный бассейн	001	29	Автоматский сток	001
2	Прямая камера 2-го ряда	002	Контактные каналы	002	30	НС 1	001
3	Зоны реагентов	003	Камера Вулкана	003	31	НС 2	001
4	Линейный аэротенк	004	Коридорная ст. очистки стока	004			
5	Воздухоподъемный аппарат Парашка	005	Искусственный остров	005			
6	Порывозащитная камера ассенизации	006	20 Шт. механического оборудования	006			
7	Насосная станция сирого стока	007	21 Декоративный	007			
8	Линейный разливный бассейн	008	22 Греть	008			
9	Камера аэрирования стока	009	23 Илосборная	009			
10	Аэротенк-Вулкан (с резервуаром)	010	24 НС Двухкоч. Гидр. в здании реактора	010			
11	Звуковой камера	011	25 КП	011			
12	Иловая камера	012	26 АБК	012			
13	Воздухоподъемный аппарат	013	27 Электрогенераторная	013			
14	Порывозащитная камера ассенизации	014	28 Котельная	014			

Технологический процесс очистки сточных вод согласно из существующей технологии
 - Степень очистки сточных вод
 - Лечебная очистка сточных вод
 - Биологическая очистка стока
 - Двухкочерная очистка стока
 - Двухкочерная очистка стока
 - Обработка ливневых сточных вод

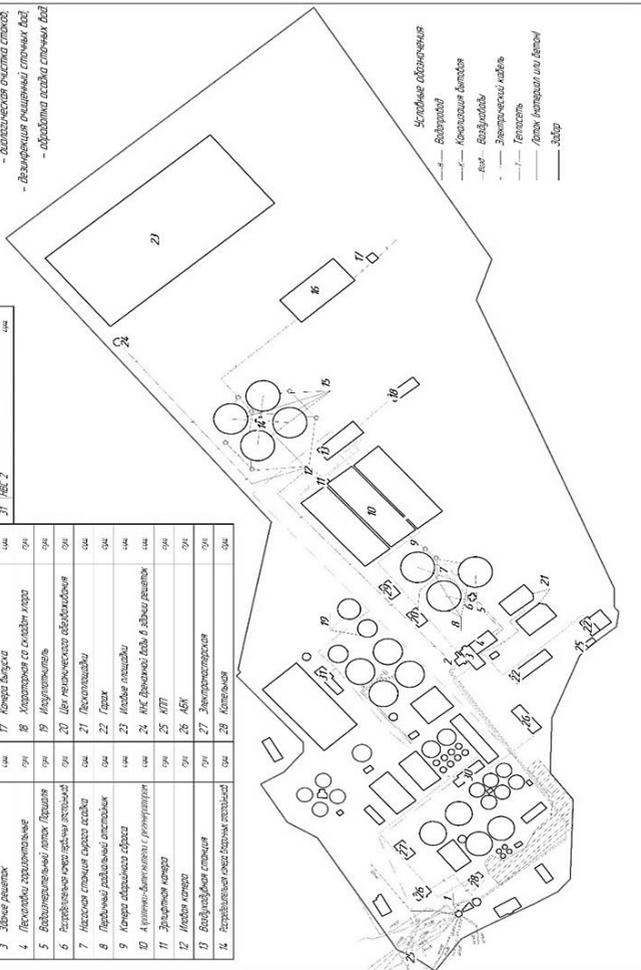


Рисунок 2. Существующая схема очистных сооружений г. Владимира

В связи с очевидными преимуществами [2] использования резервуаров-метантенков в составе технологической схемы очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации, произведен расчет и проектирование метантенков для добавления в схему очистки сточных вод города Владимира.

Основные параметры процесса имеют следующие данные:

Концентрация взвешенных веществ, поступающих на очистные сооружения канализации, составляет значение $C_{взв} = 150$ мг/л, концентрация органических загрязнений в сточной воде $C_{БПК} = 200$ мг/л. Эффект осветления в первичных отстойниках 45,4 %.

Вначале расчета необходимо определить количество сухого вещества осадка $Q_{сух}$, т/сут. Определяем по формуле (1):

$$Q_{сух} = \frac{150 \cdot 0,454 \cdot 1,2 \cdot 150000}{1000 \cdot 1000} = 12,258 \text{ т/сут} \quad (1)$$

Значение выноса активного ила из вторичного отстойника принимается равным 15 мг/л. В следствии этого, количество сухого вещества активного ила $I_{сух}$, т/сут можно определить по формуле (2):

$$I_{сух} = \frac{0,8 \cdot 150 \cdot (1 - 0,454) + 0,3 \cdot 200 - 15}{1000 \cdot 1000} \cdot 150000 = 16,578 \text{ т/сут} \quad (2)$$

Количество беззольного вещества для осадка $Q_{без}$, т/сут рассчитывается по формуле (3):

$$Q_{без} = \frac{12,258 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{100 \cdot 100} = 8,152 \text{ т/сут} \quad (3)$$

Количество беззольного вещества для активного ила $I_{без}$, т/сут определим по формуле (4):

$$I_{без} = \frac{16,578 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{100 \cdot 100} = 11,812 \text{ т/сут} \quad (4)$$

При методе удаления осадка сточных вод из отстойников с помощью плунжерных насосов, можно принять значение его влажности равной 93%. При методе самотечного удаления осадка сточных вод из отстойников под гидростатическим давлением принимаем значение влажности равной 95%. Влажность для уплотненного активного ила для вертикальных уплотнителей равна 98%, для радиальных уплотнителей - 97,3%. Плотность и осадка и активного ила можно считать равной 1.

Значение расхода для сырого осадка $V_{ос}$, м³/сут определяется по формуле (5):

$$V_{ос} = \frac{100 \cdot 12,258}{(100 - 95) \cdot 1} = 245,16 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (5)$$

Значение расхода для уплотненного активного ила $V_{ил}$, м³/сут определим по формуле (6):

$$V_{ил} = \frac{100 \cdot 16,578}{(100 - 98) \cdot 1} = 828,9 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (6)$$

В результате, общий расход осадков по сухому веществу $M_{сух}$, т/сут определим по формуле:

$$M_{сух} = 12,258 + 16,578 = 28,836 \text{ т/сут} \quad (7)$$

Общий расход осадков по беззольному веществу $M_{без}$, т/сут определим по формуле (8):

$$M_{без} = 8,152 + 11,812 = 19,964 \text{ т/сут} \quad (8)$$

Общий объем осадков по объему смеси фактической влажности $M_{общ}$, м³/сут определим по формуле (9):

$$M_{общ} = 245,16 + 828,9 = 1074,06 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (9)$$

Среднее значение влажности смеси $V_{см}$, % находим по формуле:

$$V_{см} = 100 \cdot \left(1 - \frac{28,836}{1074,06} \right) = 97,32 \% \quad (10)$$

Среднее значение зольности смеси $Z_{см}$, % находим по формуле:

$$Z_{см} = 100 \cdot \left(1 - \frac{19,964}{\frac{12,258 \cdot (100 - 5)}{100} + \frac{16,578 \cdot (100 - 5)}{100}} \right) = 27,13 \% \quad (11)$$

Рассмотрим расчет для процесса мезофильного режима сбраживания осадка при $T = 33$ °С.

При значении влажности исходной смеси 97%, суточная доза загружаемого в метантенк осадка для мезофильного режима сбраживания принимается $D = 7$ %.

Требуемый в таком случае объем метантенка V , м^3 находим по формуле (12):

$$V = \frac{1074,06 \cdot 100}{7} = 15\,343,7 \text{ м}^3 \quad (12)$$

В результате расчета по значению принимаем к проектированию 2 метантенка объемом 8000 м^3 по Типовому Проекту 902-2-228. Характеристики данных метантенков: диаметр метантенка – 22,6 м; высота верхнего конуса – 4,45 м; высота цилиндрической части – 16,3 м; высота нижнего конуса – 3,7 м. Строительный объем здания обслуживания – 2000 м^3 , газового киоска – 170 м^3 .

Общий суммарный объем метантенков при этом получается больше, чем требуемый по расчету, в связи с чем фактическая суточная доза загружаемого осадка уменьшится.

Значение фактической дозы загрузки D' , % определим по формуле (13):

$$D' = \frac{1074,06 \cdot 100}{8000} = 13,426 \% \quad (13)$$

Предел распада смеси $a_{\text{см}}$, % определим по формуле (14):

$$a_{\text{см}} = \frac{53 \cdot 8,152 + 44 \cdot 11,812}{19,964} = 47,7 \% \quad (14)$$

Для подсчета выхода газа с 1 кг органического вещества осадка при сбраживании, принимаем коэффициент $n = 0,40$ (при значениях влажности $B_{\text{см}} = 97\%$ и $t = 33^\circ\text{C}$).

Объем выхода газа с 1 кг органического вещества осадка Y' , $\text{м}^3/\text{кг}$ составляет:

$$Y' = \frac{47,7 - 0,40 \cdot 13,426}{100} = 0,423 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (15)$$

Суммарный объем выхода газа Γ , $\text{м}^3/\text{сут}$ по формуле (16) составит:

$$\Gamma = 0,423 \cdot 19,964 \cdot 1000 = 8444,77 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (16)$$

Для выравнивания давления газа в газовой сети предусматриваем к проектированию мокрые газгольдеры. Вместимость газгольдеров V_{Γ} рассчитываем на $t = 4$ ч выхода газа V_{Γ} , м^3 по формуле (17):

$$V_{\Gamma} = \frac{8444,77 \cdot 4}{24} = 1407,46 \text{ м}^3 \quad (17)$$

По расчету принято два газгольдера по Типовому Проекту 7-07-01/66 объемом 1000 м³ каждый.

Массу беззольного вещества сброженной смеси М' без, т/сут определим по формуле (18):

$$M'_{\text{без}} = 19,964 \cdot \frac{100-45}{100} = 10,98 \text{ т/сут} \quad (18)$$

Разность между М_{сух} – М_{без} представляет собой зольную часть, которая не подвергается никаким изменениям в процессе сбраживания. Масса сухого вещества сброженной смеси М' сух, т/сут определим по формуле (19):

$$M'_{\text{сух}} = (28,836 - 19,964) + 10,98 = 19,852 \text{ т/сут} \quad (19)$$

Значение влажности сброженной смеси В' см, % определим по формуле (20):

$$V'_{\text{см}} = 100 - \left(19,852 \cdot \frac{100}{1074,06} \right) = 98,15 \% \quad (20)$$

Гигроскопическую влажность сброженной смеси осадка З_{см}, % определим по формуле (21):

$$Z_{\text{см}} = 100 - \frac{10,98 \cdot 100 \cdot 100}{19,852 \cdot (100 - 6)} = 41,16 \% \quad (21)$$

В результате, общий объем сброженной смеси М' общ, м³/сут определим по формуле:

$$M'_{\text{общ}} = 1074,06 \cdot \frac{100-97,32}{100-98,15} = 1555,94 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (22)$$

Приходим к выводу, что сбраживание осадка сточных вод в итоге приводит к увеличению влажности и зольности бродящей массы.

Рассмотрим расчет для процесса при термофильном режиме сбраживания при температуре Т = 53 °С.

При значении влажности исходной смеси 97%, суточная доза загружаемого в метантенк осадка для мезофильного режима принимается равной Д = 14%.

Требуемый в таком случае объем метантенка V, м³ находится по формуле (23):

$$V = \frac{1074,06 \cdot 100}{14} = 7671,85 \text{ м}^3 \quad (23)$$

Принимаем в результате расчета 2 метантенка объемом 4000 м³ по Типовому Проекту 902-2-228. Характеристики данных метантенков: диаметр – 20 м; высота верхнего конуса – 2,9 м; высота цилиндрической части – 10,6 м; высота нижнего конуса – 3,5 м. Строительный объем здания обслуживания – 2520 м³, газового киоска – 174 м³.

Суммарный объем метантенков при этом получается больше требуемого по расчету. В результате, фактическая суточная доза загружаемого осадка уменьшится.

Значение фактической дозы загрузки D' , % определим по формуле (24):

$$D' = \frac{1074,06 \cdot 100}{4000} = 26,85 \% \quad (24)$$

Предел распада смеси $a_{см}$, % определим по формуле:

$$a_{см} = \frac{53 \cdot 8,152 + 44 \cdot 11,812}{19,964} = 47,7 \% \quad (25)$$

Для подсчета объема выхода газа с 1 кг органического вещества осадка принимаем коэффициент $n = 0,17$ (при значениях влажности $B_{см} = 97\%$ и $t = 33^{\circ}\text{C}$).

Объем выхода газа с 1 кг органического вещества осадка Y' , м³/кг составляет по формуле:

$$Y' = \frac{47,7 - 0,17 \cdot 26,85}{100} = 0,4314 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (26)$$

Суммарный объем выхода газа Γ , м³/сут по формуле (27) составит:

$$\Gamma = 0,4314 \cdot 19,964 \cdot 1000 = 8612,47 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (27)$$

Для выравнивания давления газа в газовой сети при проектировании предусматриваем устройство мокрых газгольдеров, вместимость которых V_{Γ} рассчитываем на $t = 4$ ч выхода газа V_{Γ} , м³ по формуле (28):

$$V_{\Gamma} = \frac{8612,47 \cdot 4}{24} = 1435,42 \text{ м}^3 \quad (28)$$

В результате расчета принято два газгольдера по ТП 7-07-01/66 объемом 1000 м³ каждый.

Общую массу беззольного вещества сброженной смеси $M'_{\text{без}}$, т/сут определим по формуле (29):

$$M'_{\text{без}} = 19,964 \cdot \frac{100-45}{100} = 10,98 \text{ т/сут} \quad (29)$$

Разность между $M_{\text{сух}} - M_{\text{без}}$ представляет собой зольную часть, не подвергающуюся никаким изменениям в процессе сбраживания. Масса сухого вещества сброженной смеси $M'_{\text{сух}}$, т/сут определим по формуле (30):

$$M'_{\text{сух}} = (28,836 - 19,964) + 10,98 = 19,852 \text{ т/сут} \quad (30)$$

Значение влажности сброженной смеси $V'_{\text{см}}$, % определим по формуле (31):

$$V'_{\text{см}} = 100 - \left(19,852 \cdot \frac{100}{1074,06}\right) = 98,15 \% \quad (31)$$

Гигроскопическую влажность сброженной смеси $Z_{\text{см}}$, % определим по формуле:

$$Z_{\text{см}} = 100 - \frac{10,98 \cdot 100 \cdot 100}{19,852 \cdot (100-6)} = 41,16 \% \quad (32)$$

Общий объем сброженной смеси $M'_{\text{общ}}$, м³/сут определим по формуле:

$$M'_{\text{общ}} = 1074,06 \cdot \frac{100-97,32}{100-98,15} = 1555,94 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (33)$$

В результате сравнения расчета для двух режимов сбраживания осадков (мезофильного и термофильного) получаем следующие результаты:

1. Количество метантенков для проектирования при мезофильном режиме – 2 шт. объемом 8000 м³; при термофильном – 2 шт. объемом 4000 м³;
2. Объем газа при мезофильном режиме – 8444,77 м³/сут; при термофильном – 8612,47 м³/сут.

Исходя из полученных результатов расчета для проектирования метантенков предпочтительным является термофильный режим сбраживания осадков [3].

Таким образом, предлагается провести модернизацию очистных сооружений г. Владимир с добавлением в технологическую схему метантенков. В целом, эта модернизация с добавлением резервуаров-метантенков, значительно позволит экономить площади очистных сооружений, реализовать процесс обработки осадка надежным и подлежащим автоматическому управлению способом, а также позволит локализовать источники загрязнения воздуха.

Список литературы:

1. Отчет о техническом состоянии централизованных систем водоснабжения и водоотведения муниципального образования город Владимир.
2. Хисамеева Л.Р., Селютин А.С., Абитов Р.Н., Бусарев А.В., Урмитова Н.С. Обработка осадков городских сточных вод : учебное пособие / Казань : Изд-во Казанск. гос. архитект. – строит. ун-та, 2016. – 105 с.
3. Гюнтер Л.И. Метантенки / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАНТЕНКОВ

Смирнова Алёна Романовна

*студент Института архитектуры строительства и энергетики,
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
РФ, г. Владимир*

Аннотация. В работе рассмотрены пути повышения эффективности работы сооружений для сбраживания осадка – метантенков. Выявлены основные проблемы при эксплуатации метантенков. Рассмотрены пути решения существующих проблем. Предложен подробный разбор методов интенсификации работы.

Abstract. The work considers ways to increase the efficiency of the structures for fermentation of sediment - methane tanks. The main problems during the operation of methane tanks have been identified. Ways of solving existing problems are considered. Detailed analysis of methods of work intensification is proposed.

Ключевые слова: технология; интенсификация процесса; сгущение осадка; оптимальная эксплуатация; сточные воды; органические вещества; очистка воды; метантенк; биогаз; метановое сбраживание.

Keywords: technology; process intensification; sediment thickening; optimal operation; waste water; organic substances; water purification; methane tank; biogas; methane fermentation.

Метантенки являются наиболее совершенными сооружениями для сбраживания осадков, в них септическая часть полностью отделена от отстойника. Интенсивность сбраживания зависит от температуры (основной фактор), при которой оно производится, от соотношения между количеством вновь поступающего осадка и количеством зрелого (т. е. дозы загрузки) и от полноты перемешивания. За последнее десятилетие в связи с необходимостью дальнейшего повышения эффективности и интенсификации процесса сбраживания, проделана большая работа по изучению распада ила. Работа метантенков зависит от условий их эксплуатации, т.е. от перемешивания осадка, его подогрева, режима подачи и удаления сброженного осадка.

Для оптимальной эксплуатации метантенка должны быть соблюдены следующие технологические условия:

- постоянное перемешивание содержимого гнилостной камеры;
- нагрев гнилостной камеры при как можно более постоянной температуре;
- введение загружаемого необработанного осадка со сброженным осадком;
- как можно более постоянная загрузка необработанного осадка с равномерным выводом сброженного осадка и отводом плавающего слоя;
- эффективное удаление плавающего слоя с поверхности;
- накопление, подготовка и использование биогаза.

Проведя литературный обзор [2], был сделан вывод, что малоэффективное применение метантенков было вызвано из-за нескольких основных факторов, таких как:

- применение термофильного режима сбраживания с короткими временами пребывания, требующего много энергии и ухудшающего водоотдающие свойства осадка;
- неудовлетворительное перемешивание в самих реакторах-метантенках;
- нагрев метантенков с помощью острого пара, снижающий скорость биохимической реакции;
- низкой концентрацией смеси ила и осадка, поступающего в метантенки.

Основными путями решения существующих проблем при эксплуатации метантенков является переход к мезофильному режиму сбраживания с большим временем пребывания, применение современных теплообменников для нагрева осадка и рекуперации тепла

сброженного осадка, организация хорошего перемешивания в резервуарах метантенков, увеличение концентрации избыточного ила путем его предварительного механического сгущения.

Интенсификацию процесса метанового брожения проводят для достижения следующих целей:

- сокращение продолжительности сбраживания при достижении заданной степени распада с целью уменьшения объемов сооружений, а следовательно, капитальных затрат;
- повышение количества биогаза, выделяющегося в процессе брожения, с целью его использования для сокращения затрат на обогрев самих метантенков и дополнительного получения других видов энергии;
- увеличение содержания метана в биогазе с целью повышения его теплоты сгорания и эффективности утилизации;
- достижение хорошего уплотнения и водоотдающих свойств сброженного осадка с целью сокращения затрат на сооружения для его обезвоживания.

Выявлено, что основными методами интенсификации работы метантенков является:

- повышение эффективности перемешивания осадка и изменение перемешивания на микроуровне;
- переход на непрерывную загрузку и выгрузку (двухступенчатые процессы);
- разделение фаз сбраживания;
- повышение концентрации загружаемого осадка и биомассы микроорганизмов за счет ее рециркуляции;
- подготовка осадка к сбраживанию (предобработка) с увеличением степени гидролиза.

Рассмотрим каждый метод более подробно [1].

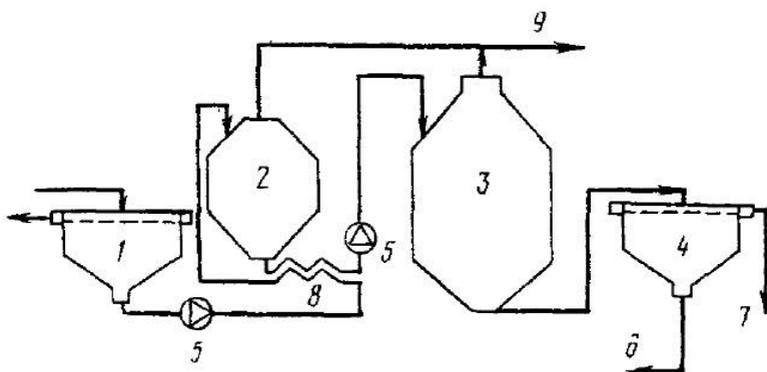
Повышение концентрации загрузки.

При традиционной технологии сбраживания в метантенк загружается смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного избыточного ила с концентрацией сухого вещества 30-40 кг/м³. При такой сравнительно низкой концентрации исходного субстрата невозможно поддерживать высокую нагрузку по сухому беззольному веществу и одновременно обеспечивать достаточную продолжительность процесса. Увеличение концентрации сухого вещества осадков путем предварительного сгущения позволяет увеличить нагрузку на метантенк и вести процесс при продолжительности, достаточной для предотвращения срывов сбраживания. Повышения концентрации осадка в метантенке можно достичь путем предварительного сгущения загружаемого осадка или рециркуляции сброженного осадка. В первом случае в метантенке

увеличивается концентрация сбраживаемого субстрата, во втором – биомасс микроорганизмов, участвующих в процессе. Предварительное сгущение осадка путем его гравитационного уплотнения, центрифугирования и флотации получили широкое распространение в ряде стран.

Фазовое разделение.

К новым интенсивным технологиям метанового сбраживания, многие из которых уже нашли практическое применение, относятся различные варианты технологий фазового разделения. Научная концепция технологии фазового разделения базируется на различных требованиях кислото- и метанообразующих микроорганизмов к условиям среды и различии их физиологических характеристик.



Примечание: 1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – анаэробный реактор I фазы; 3 – анаэробный реактор II фазы; 4 – уплотнитель сброженного осадка; 5 – насос; 6 – на обезвоживание; 7 – в начало очистных сооружений; 8 – теплообменник; 9 – биогаз.

Рисунок 1. Технологическая схема фазового разделения

Значительное внимание в исследованиях процесса фазового разделения уделяется подбору для обеих фаз процесса эффективной температуры и минимальной продолжительности сбраживания, а также их проведению в аэробных и анаэробных условиях. Чтобы ускорить фазу метаногенеза, необходимо создавать условия для повышения концентрации метановых бактерий. Перспективным является использование реактора с неподвижным слоем загрузки для прикрепления (иммобилизации) микроорганизмов, а также применение АПФЛОУ-процесса. В этом процессе при восходящем потоке осадка за счет хороших флокулирующих свойств метаногенов образуется взвешенный

слой гранулообразного осадка, при прохождении через который осуществляется быстрая и глубокая биометанизация сбраживаемого субстрата. Оба направления получают широкое распространение при анаэробной обработке концентрированных промышленных сточных вод, содержащих растворенные органические вещества.

Аэробно – анаэробные процессы стабилизации.

Предварительная аэробная обработка в течение 1-2 сут перед анаэробным сбраживанием оказывает значительное влияние на общий итог стабилизации по выходу газа и снижению концентрации органического вещества. В результате метаболической активности аэробных микроорганизмов высвобождается значительное количество энергии, что приводит к повышению температуры в реакторе. Основными факторами, влияющими на степень повышения температуры, являются подача достаточного количества кислорода воздуха или чистого кислорода и концентрация сырого осадка в сочетании с продолжительностью стабилизации. Данный способ позволяет на 20-30 % уменьшить объем сооружений по сравнению с одноступенчатым мезофильным сбраживанием при времени пребывания осадка 20 сут. Однако по сравнению с одноступенчатым термофильным сбраживанием, где используется более короткое время пребывания осадка, это преимущество сводится к минимуму. По приведенным затратам рассматриваемый способ не дает значительных преимуществ, однако его надежность, возможность достижения гигиенически безупречных осадков и их неплохие водоотдающие свойства делают его конкурентоспособным по отношению к другим методам стабилизации.

Повышение эффективности перемешивания осадка.

Конструкционные особенности часто закладываемых при проектировании метантенков вертикальных мешалок типа импеллер в трубе на практике не обеспечивают достаточно эффективного перемешивания и приводят к быстрому выходу из строя установленных мешалок. Была проведена работа по поиску других перемешивающих устройств, и после промышленных испытаний подобранного образца, предложена замена импеллерных мешалок на лопастные мешалки. Такая модернизация метантенков приводит к увеличению выхода биогаза на 10%.



Замена
импеллерных
мешалок на
лопастные

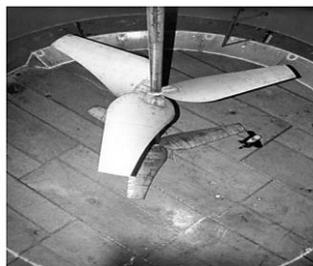


Рисунок 2. Вид импеллерных и лопастных мешалок

Повышение концентрации загружаемого осадка и биомассы микроорганизмов за счет ее рециркуляции.

Технология метанового сбраживания с рециклом активной биомассы, представляет собой схему, по которой часть осадка, который выходит после сбраживания, сгущается на центрифугах и направляется обратно на метантенк. Такая технология без высоких капитальных затрат и без существенной реорганизации производственного процесса позволяет интенсифицировать процесс метанового сбраживания:

- увеличить выработку биогаза на 10- 15%;
- снизить затраты на обработку и утилизацию осадка;
- улучшить водоотдающие свойства осадка;
- уменьшить количество загрязнений в возвратном потоке сливных вод.

Когда уменьшается количество осадка, это приводит к другим экономическим эффектам, связанным с депонированием (вывозом) осадка. Это тоже является экономически выгодным эффектом. Сгущение осадка сточных вод перед подачей в метантенки для увеличения времени пребывания и глубины сбраживания.

Сгущение осадка сточных вод перед подачей в метантенки позволяет увеличить время пребывания осадка в метантенке и глубину сбраживания. Сбраживание более концентрированного осадка в метантенках приведет к увеличению глубины распада беззольного вещества с 44 до 48 - 52% за счет увеличения времени пребывания осадка и увеличит выход биогаза на 10%. Уменьшение объема загрузки в метантенки позволит получить экономию тепла на предварительный нагрев загружаемого осадка. Уменьшение массы сухого вещества сброженного осадка позволит значительно сократить расходы на флокулянт при механическом обезвоживании и на вывоз осадка. Оба эти процесса составляют основные затратные статьи в обработке осадка.



Рисунок 3. Зависимость распада беззольного вещества при сбраживании от концентрации сухого вещества загружаемого осадка

Подготовка осадка к сбраживанию (предобработка).

Применение различных методов предобработки осадков позволяет:

- увеличить биодоступность осадков для сбраживания;
- увеличить степень распада беззольного вещества;
- повысить выход биогаза;
- снизить количество сброженного осадка.

Среди всех методов предобработки для практиков [1] в разных странах наибольший интерес представляет термообработка, когда происходит предобработка осадка сточных вод при температуре 130-180°C при высоком давлении. За счет этого происходит увеличение выхода биогаза на 33-68%, однако эта технология подразумевает высокие капитальные затраты на строительство узла термогидролиза. Термощелочная обработка дает высокую степень разрушения активного ила, однако она еще более затратна, потому что нужно построить сооружения, работающие при высокой температуре плюс затраты на реагенты. Ультразвуковая обработка дает увеличение выхода биогаза от 9 до 42 % в зависимости от условий обработки, характеризуется простым встраиванием в существующие технологические схемы, простым обслуживанием, однако очень энергоемка.

Самыми эффективными методами, как показали лабораторные эксперименты, являются термообработка при 160°C и ультразвуковая обработка [3].

Повышение требований к охране окружающей среды заставили вновь обратиться к энергетически выгодному анаэробному процессу конверсии органических отходов и к возобновлению исследований биохимии, микробиологии и кинетики метанового сбраживания с целью

создания принципиально новых и усовершенствованных технологий для его осуществления, позволяющих уменьшить объемы сооружений и повысить выход биогаза и конверсии органических веществ. В это же время появились новые конструкции метантенков со сниженной материалоемкостью, обеспечивающие улучшенные условия эксплуатации, а также новые способы утилизации биогаза, которые позволяют на 60-80% снижать общие затраты электроэнергии на очистных сооружениях. Правильное применение метантенков обеспечивает не только подготовку осадка к обезвоживанию и его стабилизацию (это важно для предотвращения образования метана при последующем депонировании, использовании или утилизации), но и получение энергии.

Список литературы:

1. Гюнтер Л.И. Метантенки / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
2. Карасева Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания / Ю.В. Карасева, И.А. Трахунова // Труды Академэнерго. – 2010. - №3. – С.109-127.
3. Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва – 2014.

РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИКА

2.1. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ВОЗМУЩЕННОГО ОПЕРАТОРА ШТУРМА-ЛИУВИЛЛЯ

Гасимова Айнур Рамазан

*д-р философии по математике, ст. преподаватель,
Гянджинский Государственный Университет
Азербайджанская Республика, г. Гянджа*

Аннотация. В данной работе решается прямая и обратная задачи теории рассеяния для возмущенного оператора Штурма-Лиувилля, т. е. находятся необходимые условия на набор величин при которых они служили бы, данными рассеяния заданного оператора, затем доказывается достаточность этих условий.

Ключевые слова: Уравнение Штурма-Лиувилля; Теория рассеяния; Обратная задача, оператор преобразования, равенство Парсевалья.

1. Введение. Есть несколько версий обратной задачи Штурма-Лиувилля. Первые важные результаты в этом направлении, были получены [1]. Интерес к обратным задачам возрос из-за связей обратных задач с некоторыми важными нелинейными уравнениями математической физики. Подробное изложение связей обратных задач с нелинейными уравнениями (не только Кортевега – де Фриза) посвящена монография В.Е.Захарова, С.В.Манакова. В настоящее время, обратные задачи изучаются для некоторых специальных классов обыкновенных дифференциальных операторов. Эффективный метод построения регулярного и сингулярного оператора Штурма-Лиувилля по спектральной функции или по двум спектрам дается [2, 3, 4].

Детали обратных задач для сингулярных уравнений были приведены в [5, 6,] и в ссылках в них. Следует отметить, что в процессе эффективного решения обратных задач рассеяния оператор преобразования с условиями на бесконечности открытый Б.Я. Левиным играет важную роль. Принципиальным моментом здесь является построение оператора преобразования с условиями на бесконечности, переводящего решение невозмущенного уравнения $-y'' - xy = \lambda^2 y$ в решение возмущенного уравнения $-y'' - [x - p(x)]y = \lambda^2 y$, при условии

$$\int_0^{+\infty} (1+x^4) e^{\sqrt{2}x^{\frac{3}{2}}} |p(x)| dx < \infty \quad (1)$$

Доказывается, что ядро $H(x, t)$ (8) оператора преобразования является решением граничной задачи (9)-(10). Методом Римана доказывается, что для решения граничной задачи (9)-(10) достаточно интегральное уравнение (14). Применяя метод последовательных приближений, доказывается единственность решения этого уравнения. С помощью оператора преобразования находим асимптотику нормированных собственных функций граничной задачи

$$\begin{aligned} -y'' - [x - p(x)]y &= \lambda^2 y \\ y(0) &= 0. \end{aligned}$$

Далее выводится и исследуется основное интегральное уравнение (17) для ядра $H(x, t)$

2. Равенство Парсеваля для $p(x) \equiv 0$.

В случае $p(x) \equiv 0$ можно показать, что функция

$$\psi(x, \lambda) = \sqrt{x + \lambda} + H_{\frac{1}{3}}^{(1)} \left\{ \frac{2}{3} (x + \lambda^2)^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (2)$$

является решением уравнения

$$-y'' - xy = \lambda y \quad (3)$$

и $\psi(x, \lambda) \in L_2[0, \infty)$ при $\text{Im } \lambda > 0$. $H_{\frac{1}{3}}^{(1)}(z)$ - цилиндрические функции

Ганкеля.

Обозначим через $\varphi_0(x, \lambda)$ решение уравнения (3), удовлетворяющее условиям

$$\varphi_0(0, \lambda) = 0, \quad \varphi_0'(0, \lambda) = 1 \quad (4)$$

Используя формулу (2) доказываем, что

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_0(x, \lambda) \varphi_0(t, \lambda) K_0(\lambda) d\lambda = \delta(x-t) \quad (5)$$

где

$$K_0(\lambda) = \frac{3}{\pi \lambda \left| H_{\frac{1}{3}}^{(1)} \left(\frac{2}{3} \lambda^{\frac{3}{2}} \right) \right|^2} \quad (6)$$

3. Оператор преобразования с условием на бесконечности.

Здесь мы находим условия существования оператора преобразования типа, введенным Б.Я. Левиным.

Теорема. Пусть выполняется условие (1). Тогда при любом $\lambda, \text{Im } \lambda > 0$ уравнение $L(y) = \lambda^2 y$ имеет решение $\psi(x, \lambda)$ с условием

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\psi(x, \lambda)}{\psi_0(x, \lambda)} = 1 \quad (7)$$

и существует ядро $H(x, t)$ такое, что

$$\psi(x, \lambda) = \psi_0(x, \lambda) + \int_x^{\infty} H(x, t) \psi_0(t, \lambda) dt \quad (8)$$

где $H(x, t)$ удовлетворяет уравнению

$$H_{xx}'' - H_{tt}'' + (x-t)H = H(x, t)p(x) \quad (9)$$

$$H(x, x) = \frac{1}{2} \int_x^{\infty} p(\alpha) d\alpha \quad (10)$$

$$H(x, t) = 0, x > t, \lim_{x+t \rightarrow +\infty} H(x, t) = \lim_{x+t \rightarrow +\infty} \frac{\partial H(x, t)}{\partial t} = 0 \quad (11)$$

$$|H(x, t)| \leq C \rho \left(\frac{x+t}{2} \right) e^{\rho_1 \left(\frac{x+t}{2} \right)} \quad (12)$$

и

$$\left| \frac{\partial H(x_1, x_2)}{\partial x_1} + \frac{1}{4} p \left(\frac{x_1 + x_2}{4} \right) \right| \leq C_1 \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right)^{-4} \rho_4 \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right) \exp \left\{ \rho_1 \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right) \right\}, \quad (13)$$

где

$$\rho_j(x) = \int_x^\infty (1 + \alpha^j) |p(t)| dt, \quad (j = 0, 1, 2, 3, 4), \quad (x_1 = x, x_2 = t), \quad (\rho_0(x) = \rho(x))$$

4. Разложения по собственным функциям оператора L .

Обозначим через $\Phi(x, \lambda)$ решение уравнения $L(y) = \lambda^2 y$ удовлетворяющее условиям (4). Мы доказываем справедливость существования разложения:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x, \lambda) \varphi(t, \lambda) \frac{K_0(\lambda)}{\eta_1(\lambda) \overline{\eta_1(\lambda)}} d\lambda = \delta(x-t) \quad (14)$$

где: $\eta_1(\lambda) = \Phi(0, \lambda) \Phi_0^{-1}(0, \lambda)$.

Таким образом, функция

$$U(x, \lambda) = \varphi(x, \lambda) \eta_1^{-1}(\lambda), \quad \lambda \in (-\infty, \infty)$$

является нормированной собственной функцией непрерывного спектра оператора L .

Введя обозначение $S(\lambda) = \overline{\eta_1(\lambda)} \cdot \eta_1^{-1}(\lambda)$ мы замечаем, что для вещественных значений λ

$$U(x, \lambda) = U_0(x, \lambda) + \int_x^\infty H(x, t) U_0(t, \lambda) dt \quad (15)$$

$$U_0(x, \lambda) = \Phi_0(x, \lambda) \overline{\Phi_0(0, \lambda)} S(\lambda) - \overline{\Phi_0(x, \lambda)} \Phi_0(0, \lambda) \quad (16)$$

Из этой формулы следует, что при $x \rightarrow \infty$ асимптотическое поведение $U(x, \lambda)$ определяется функцией $S(\lambda)$. Эту функцию мы назовем *функцией рассеяния* оператора L .

Лемма 1. Функция рассеяния $S(\lambda)$ определена на всей вещественной оси, унитарна:

$$S(\lambda) = S^{-1}(\lambda) \text{ и } |\psi_0(0, \lambda)|^2 [S(\lambda) - 1] \in L_2[-\infty, +\infty; K_0(\lambda)]$$

Лемма 2. Интегральное уравнение

$$\int_{-\infty}^{+\infty} V(\lambda) U_0(x, \lambda) K_0(\lambda) d\lambda = 0$$

имеет лишь тривиальное решение в

$$L_2[-\infty, \infty; K_0(\lambda)] \quad (V(\lambda) \in L_2(-\infty, +\infty; K_0(\lambda)))$$

5. Основное уравнение для ядра $H(x, t)$.

Умножим обе части равенство (15) на $U_0(t, \lambda) K_0(\lambda)$ и проинтегрируем по параметру $\lambda \in (-\infty, +\infty)$ от $-\infty$ до $+\infty$.

Используя равенство Парсеваля (14) после элементарных преобразований мы получим основное интегральное уравнение типа В.А. Марченко:

$$F(x, t) + H(x, t) + \int_x^{\infty} H(x, \xi) F(\xi, t) d\xi = 0 \quad (17)$$

где

$$F(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{\Phi_0(x, \lambda) \Phi_0(t, \lambda) [1 - S(\lambda)]}{\Phi_0(0, \lambda)} \cdot \frac{\overline{\Phi_0(0, \lambda)}}{W_0(\lambda)} + \right. \quad (18)$$

$$\left. + \frac{\overline{\Phi_0(x, \lambda) \Phi_0(t, \lambda) [1 - \overline{S}(\lambda)]}}{\overline{\Phi_0(0, \lambda)}} \cdot \frac{\Phi_0(0, \lambda)}{\Phi_0(\lambda)} \right] d\lambda$$

$$W_0(\lambda) = \Phi_0(0, \lambda) \overline{\Phi_0'(0, \lambda)} - \Phi_0'(0, \lambda) \overline{\Phi_0(0, \lambda)}$$

функцию $F(x, t)$ будем называть *функцией перехода*. Она играет важную роль при решении обратной задачи.

Лемма 3. Функция перехода $F(x, t)$ удовлетворяет неравенству

$$|F(x, t)| < C\alpha\left(\frac{x+t}{2}\right) \quad (18')$$

и непрерывные частные производные $F'_x(x, t), F'_t(x, t)$ удовлетворяют неравенству

$$|F'_x| + |F'_t| \leq C\alpha\left(\frac{x+t}{2}\right), \quad c = const, \quad (19)$$

где $\alpha(x)$ убывающая и интегрируемая функция на $(0, \infty)$.

Доказательство.

Для доказательства применим основное уравнение (17) и оценку (12). В основном уравнении (17) возьмем функцию $F(x, t)$ в качестве неизвестного. Тогда для функции $F(x, t)$ получим уравнение

$$F(x, t) = -H(x, t) - \int_x^\infty H(x, \xi)F(\xi, t)d\xi$$

Возьмем

$$F_0(x, t) = H(x, t)$$

$$F_m(x, t) = -\int_x^\infty H(x, \xi)F_{m-1}(\xi, t)d\xi, \quad m = 1, 2, \dots$$

Учитывая оценку (12), имеем

$$|F_0(x, t)| \leq |H(x, t)| \leq C\rho\left(\frac{x+t}{2}\right)$$

$$|F_1(x, t)| \leq \int_x^\infty |H(x, \xi)| |F_0(\xi, t)| d\xi \leq C \int_x^\infty \rho\left(\frac{x+\xi}{2}\right) \rho\left(\frac{\xi+t}{2}\right) d\xi \leq$$

$$\leq C\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) \int_x^\infty \rho\left(\frac{x+\xi}{2}\right) d\xi \leq M\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) \cdot \int_x^\infty \rho(z) dz =$$

$$= M\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) \int_x^\infty e^{\sqrt{2}\alpha^{\frac{3}{2}}} |P(\alpha)| d\alpha \int_x^\alpha dz \leq M\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) \int_x^\infty \alpha e^{\sqrt{2}\alpha^{\frac{3}{2}}} |P(\alpha)| d\alpha \leq$$

$$\leq M\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) \rho_1(x) \leq M\rho_1(0)\rho\left(\frac{x+t}{2}\right) = M_1\rho\left(\frac{x+t}{2}\right)$$

Следовательно, $|F_1(x, t)| \leq M_1 \rho \left(\frac{x+t}{2} \right)$, $M_1 = const$. Методом математической индукции доказывается, что $|F_m(x, t)| \leq M_1 \rho \left(\frac{x+t}{2} \right)$, $M_1 = const$.

Следовательно, ряд $F(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} F_m(x, t)$, сходится равномерно в области $0 \leq x \leq t$, и функция $F(x, t)$ является решением основного уравнения, и для него справедливы оценки (18').

Список литературы:

1. Агранович З.С., Марченко В.А. Обратная задача теории рассеяния, Харьков, 1960.
2. Гасымов М.Г. Об обратной задаче для уравнения Штурма-Лиувилля, Докл. АН СССР, 1964, т. 154, стр. 254-257.
3. Гусейнов И.М., Набиев И.М. Об одном классе обратных краевых задач для операторов Штурма-Лиувилля. Диф. Уравнения, т. 25, № 7, 1989, с. 1114-1120.
4. Гусейнов И.М., Гасымов М.Г., Набиев И.М. Обратная задача для оператора Штурма-Лиувилля с неразделенными самосопряженными краевыми условиями. Сибирский мат. журн. т.31, №6, 1990, с.46-54.
5. Мустафаев Б.А., Мамедханов Дж. И., Ахмедова А.Р. Обратная задача теории рассеяния для возмущенного оператора Штарка на полуоси. АМЕА-nin, «Мярузяляри», Ылд ЛХВ, № 1, Баки, 2009, стр.3-11.
6. Ахмедова А.Р. Обратная задача теории рассеяния для возмущенного оператора Штарка на полуоси. «Математика, информатика, физика и их преподавание», МПГУ, Москва 2010, стр.40-41.
7. Ацмедова А.Р. Spectral characteristics of Starks finite-perturbed operator. АМЕА, Рийазийят вь Механика Институтунун ясярляри. Ылд ХХХЫЫ(ХЛ), Баки, 2010, стр.9-20.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXXI международной
научно-практической конференции*

№ 2 (31)
Февраль 2020 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 13.02.20. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,375. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru