

**ВЕРТИКАЛЬНЫЙ АЭРОТЕНК****Минвалиев И.А., ученик 11 класса*****Научный руководитель Мингазетдинов И.Х.******Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ, Россия***

*В данной статье представлена конструкция вертикального аэротенка нового образца с шинковым перемешиванием, мелкопузырчатой аэрацией и инфракрасной стимуляцией активного ила, а также приведены преимущества разработанного устройства перед горизонтальными аналогами по площади застройки, энергопотреблению и устойчивости к низким температурам.*

*Ключевые слова: вертикальный аэротенк, биологическая очистка сточных вод, активный ил, аэрация, шинковый транспорт, компактные очистные сооружения.*

**Введение.** В условиях роста антропогенной нагрузки и ужесточения экологических нормативов необходима модернизация систем биологической очистки сточных вод. Традиционные горизонтальные аэротенки обладают существенными недостатками: большой занимаемой площадью, высокой энергоёмкостью (особенно зимой) и неоптимальной гидродинамикой [1, 3]. Это делает их уязвимыми в условиях дефицита земельных ресурсов и сурового климата, характерного для многих регионов России.

Актуальность данного проекта заключается в разработке компактного, энергоэффективного и климатически устойчивого решения для биологической очистки сточных вод на основе вертикальной компоновки аэротенка.

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации подходов к интенсификации биологических процессов очистки за счет совмещения механического, пневматического, физического и биохимического воздействий.

Практическая ценность состоит в предложении конкретного инженерного решения, защищённого патентом [2], которое позволяет сократить площадь застройки, снизить эксплуатационные затраты и повысить надёжность работы очистных сооружений в зимних условиях.

**Проблемы традиционных систем очистки.** Основным аппаратом глубокой биологической очистки сточных вод являются аэротенки – резервуары, где органические загрязнения разлагаются сообществом микроорганизмов (активным илом) в присутствии кислорода. Широко распространённые горизонтальные аэротенки представляют собой открытые или полужакрытые железобетонные сооружения большой длины и ширины при относительно малой глубине. Такая конструкция обуславливает ключевые проблемы, характерные для всей технологической цепочки:

Значительная занимаемая площадь. Например, аэротенки Казанского завода «Оргсинтез» занимают территории, сопоставимые с футбольными полями. Это делает их неприемлемыми для стеснённых городских условий и формирует аналогичную проблему на этапе обработки осадка.

Образование и необходимость утилизации избыточного активного ила. В процессе работы непрерывно образуется избыточный активный ил, требующий обезвоживания и размещения. Традиционное складирование на иловых картах (полях) приводит к долгосрочному выводу значительных земельных площадей из хозяйственного оборота, создаёт риски загрязнения окружающей среды фильтратом и является источником эмиссии парниковых газов и неприятных запахов.

Высокая энергоёмкость в зимний период. Большая площадь поверхности способствует быстрым теплопотерям и промерзанию верхних слоёв. Для поддержания температуры, необходимой для жизнедеятельности микроорганизмов (оптимальная температура в 35°C), требуются значительные затраты энергии на подогрев [3].

Неравномерность аэрации и перемешивания, ведущая к образованию застойных зон и снижению общей эффективности очистки.

Совокупность этих проблем приводит не только к росту эксплуатационных затрат, но и создаёт значительные экологические риски. Большие площади открытых аэротенков являются источником эмиссии летучих органических соединений и парниковых газов (метана, закиси азота). Промерзание и нестабильная работа в зимний период могут стать причиной сброса недостаточно очищенных стоков, нарушая нормативы и нанося ущерб водным объектам. Таким образом, недостатки традиционных систем напрямую противоречат современным принципам «зелёной» экономики и целям устойчивого развития, требующим сокращения углеродного следа, экономии ресурсов и минимизации занимаемых территорий. Это формирует устойчивый технологический запрос на принципиально иные решения.

*Конструкция и принцип работы вертикального аэротенка.* Устройство представляет собой вертикальный аэротенк, содержащий цилиндрический корпус 1 с вертикальной осью, патрубков подвода исходной воды 14, патрубков отвода обработанной воды с илом 6, разделитель ила 7, смеситель возвратного ила 15, коаксиально расположенный шнек 2 с покрытием из фермента на поверхности, по оси корпуса расположен трубчатый инфракрасный излучатель 4, между витками шнека эквидистантно установлен трубчатый аэратор 9 с перфорацией в шахматном порядке по всей его длине, подвод воздуха на витки аэратора от общей магистрали 10, коническое днище 13 с промывным патрубком 12, верхняя крышка 3, пространство аэротенка 5, источник питания 8, токопровод 11.[2](рис. 1)

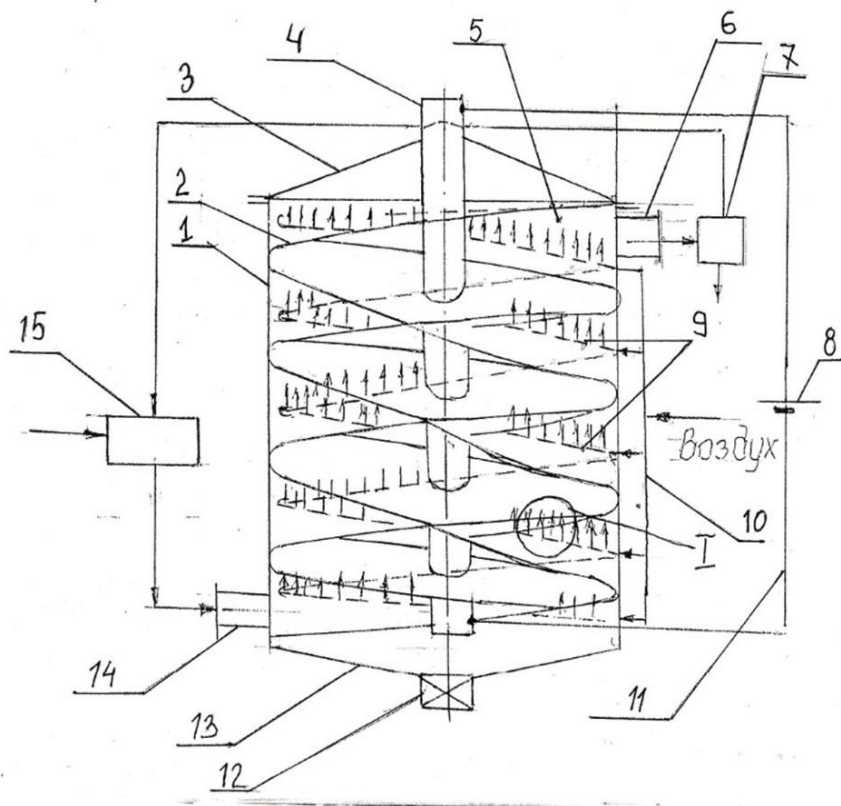


Рисунок 1 – Схема вертикального аэротенка.

Рассматриваемое устройство функционирует следующим образом: в вертикальный аэротенк поступает исходная вода через патрубок 14. Вместе с исходной водой в систему загружается активный ил с помощью смесителя возвратного ила 15. После попадания смеси из исходной воды и ила в корпус 1 и пространство аэротенка 5, смесь начинает постепенно подниматься вверх за счет вращения винтового шнека 2.

Пространство аэротенка 5 содержит трубчатый инфракрасный излучатель 4 — для ускорения процесса очистки исходной жидкости активным илом, а также перфорацию с помощью трубчатого аэратора 9 — для насыщения смеси кислородом. Снаружи аэротенка осуществляется подвод воздуха к виткам аэратора через магистраль 10, через которые воздух равномерно распределяется по всему объёму аэротенка.

Этот воздух жизненно необходим для активного ила — сообщества полезных микроорганизмов, которые «перерабатывают» загрязнения в сточной воде. В присутствии кислорода эти бактерии активно размножаются и эффективно разлагают органические вещества, содержащиеся в воде. Без достаточного количества кислорода процесс биологической очистки замедляется или останавливается, и вода не очищается до требуемых норм.

Показатели эффективности очистки, такие как БПК (биохимическая потребность в кислороде) и ХПК (химическая потребность в кислороде), как раз отражают, сколько органики осталось в воде после обработки. Чем ниже значения БПК и ХПК — тем чище вода. Подача воздуха через перфорации трубчатого аэратора 9 обеспечивает оптимальные условия для микроорганизмов, позволяя максимально снизить эти показатели и добиться высокого качества очистки. Требуемое количество подаваемого воздуха и итоговые показатели очистки (БПК и ХПК) зависят от уровня загрязнённости воды и подбираются индивидуально в зависимости от условий эксплуатации и состава сточных вод.[3]

Корпус аэротенка оснащен нижним днищем и верхней крышкой: нижнее днище 13 соединено с промывным патрубком 12, через который при необходимости внутренняя часть корпуса может быть промыта. Верхняя крышка 3 закрывает пространство аэротенка. После того как ил вместе с исходной водой, благодаря вращению винтового шнека 2, поднимется под пространство верхней крышки, исходную воду можно считать очищенной. В этот момент объем активного ила увеличивается, вследствие чего возникает необходимость удалить излишки.

Под верхней крышкой расположен патрубок отвода обработанной воды с илом 6 — для выхода очищенной воды и активного ила. После этого активный ил попадает в блок разделения ила 7, где излишки ила удаляются из системы, а необходимая часть возвращается в смеситель возвратного ила 15 для дальнейшего использования.

Дополнительно вертикальный аэротенк оснащен источником питания 8 и токопроводом 11 для электропитания электрической части устройства. Корпус выполнен с наружной теплоизоляцией и имеет внутри корпуса датчик температуры, а на поверхность витков шнека нанесён фермент, выступающий в роли катализатора для ускорения гидролиза сложных органических загрязнений.

*Преимущества.* Вертикальные аэротенки значительно компактнее горизонтальных, что позволяет экономить занимаемую площадь в условиях ограниченных земельных ресурсов. Освобождённые участки могут быть использованы для сельского хозяйства или иной инфраструктуры. Вертикальная ориентация обеспечивает равномерное распределение

процессов очистки по всей высоте устройства, повышая степень очистки при меньших габаритах.

Все основные узлы размещены в одном вертикальном блоке, что упрощает монтаж и доступ к компонентам, сокращая трудозатраты на обслуживание. Оптимальное расположение инфракрасных излучателей и перфорации для аэрации ускоряет процессы биологической очистки. Вертикальная конструкция также позволяет рациональнее организовать сбор, удаление избыточного ила и его возврат в цикл, повышая стабильность работы и снижая эксплуатационные затраты.

В отличие от горизонтальных аэротенков, занимающих огромные открытые площади, вертикальные системы имеют меньшую поверхность и легко размещаются в утеплённых или закрытых модулях. Это резко снижает риск промерзания активного ила зимой и исключает необходимость дорогостоящего подогрева, делая эксплуатацию более энергоэффективной и надёжной в холодном климате.

*Вывод.* Предложенный вертикальный аэротенк с непрерывным режимом работы представляет собой перспективное направление для модернизации действующих и строительства новых очистных сооружений. Его внедрение позволит создавать компактные, энергоэффективные и климатически устойчивые комплексы для очистки промышленных и муниципальных сточных вод, что имеет важное значение для развития инфраструктуры в удаленных и труднодоступных регионах страны.

### **Литература:**

1. Основные конструкции аэротенков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studref.com/305054/ekologiya/osnovnye\\_konstruktsii\\_aerotenkov](https://studref.com/305054/ekologiya/osnovnye_konstruktsii_aerotenkov) (дата обращения: 19.01.2026).

2. Пат. № 238388 Российская Федерация, МПК C02F3/02. Вертикальный аэротенк / Мингазетдинов Идгай Хасанович, Желовицкая Алла Всеволодовна, Минвалиев Ислам Айдарович; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». – № 2025111458; заявл. 30.04.2025; зарегистрир. 28.10.2025; срок действия до 30.04.2035.

3. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды : учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников ; под ред. А.И. Родионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 512 с. – ISBN 5-7245-0195-3.