

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

На правах рукописи

ИСМАИЛ ХУССЕЙН

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИДОННЫХ СЛОЁВ ВОДОЁМОВ НА ОСНОВЕ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СИРИИ

Специальность

4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор,

Михеев Павел Александрович

Москва 2025

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	11
1.1. Краткий анализ основных показателей качества воды природных источников .....	11
1.2. Современное состояние природных водоисточников и особенности гидрохимического режима водохранилищ западных провинций Сирии .....	16
1.3. Сравнительный анализ существующих подходов, методов и технических решений по улучшению качества природных вод .....	28
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ .....	36
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ .....	38
2.1. Принципы создания систем аэрации естественных водоёмов с использованием возобновляемых источников энергии .....	38
2.2. Разработка конструкций для аэрации естественных водоёмов на основе использования возобновляемых источников энергии .....	41
2.2.1. Конструкции устройств для улучшения качества поверхностных водоисточников на основе использования солнечной энергии .....	42
2.2.2. Устройства на основе использования энергии волн для улучшения качества придонных слоев воды .....	45
2.3. Разработка экспериментального образца аэратора для поверхностных водоёмов на основе использования солнечной энергии .....	47

2.4. Расчетное обоснование экспериментального образца аэратора для поверхностных водоёмов с использованием солнечной энергии .....	52
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ .....	57
ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ .....	58
3.1. Состав, цель и задачи лабораторных исследований .....	58
3.2. Лабораторные исследования устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях солнечной радиации Сирии .....	59
3.2.1. Описание экспериментальной установки, методика проведения исследований .....	59
3.2.2. Результаты исследований по оценке эффективности насыщения придонных слоев воды воздухом .....	62
3.3. Лабораторные исследования по оценке работы и параметров устройства для аэрации придонных слоёв воды .....	66
3.3.1. Экспериментальная установка, методика проведения, приборы и оборудование, оценка точности экспериментов .....	67
3.3.2. Анализ результатов исследований по оценке параметров работы экспериментального устройства .....	72
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ .....	75
ГЛАВА 4. НАТУРНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ВОДЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ .....	76
4.1. Состав, цель и задачи натуральных исследований .....	76
4.2. Натурные исследования устройства в условиях водохранилища 16 Тишрин в Сирии .....	77
4.2.1. Объект исследований, цель и методика проведения исследований .....	77
4.2.2. Результаты исследований по оценке параметров качества	

воды в процессе работы устройства .....	81
4.3. Исследования устройства в условия прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии .....	84
4.3.1. Экспериментальная установка, методика проведения эксперимента, приборы и оборудование, оценка точности измерений .....	86
4.3.2. Анализ результатов исследований по оценке эффективности работы аэратора .....	91
4.3.3 Оценка технического решения по результатам натуральных исследований и предложения по совершенствованию конструкции ..	94
4.4. Оценка эффективности применения устройств для аэрации поверхностных вод на основе возобновляемых источников энергии .	96
4.5. Перспективы исследований устройств для улучшения качества придонных слоев воды на основе использования солнечной энергии	97
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ .....	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	104
РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ:	
Приложение 1. Протокол испытаний №1. Результаты полевых и лабораторных анализов проб воды, взятых из водохранилища «16 Тишрин», до и после использования устройства для аэрации придонных слоев воды использованного аспирантом Исмаил Хуссейн (на арабском языке) .....	118
Приложение 2. Протокол испытаний №1. Перевод с арабского на русский язык .....	121
Приложение 3. Копия свидетельства о поверке Анализатора растворенного кислорода, тип Марк-302, модификация МАРК-302М, госреестр № 24997-03 .....	124

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Сирия входит в число стран, испытывающих дефицит воды, поскольку доля доступных водных ресурсов на душу населения в республике достигнет 732 м<sup>3</sup> в 2025 году и по прогнозам снизится вдвое к 2050 году при «абсолютном» дефиците менее 500 м<sup>3</sup> в год на душу населения. Сброс неочищенных канализационных, промышленных и сельскохозяйственных сточных вод в водные объекты, приводящий к ухудшению состояния экосистем рек, водохранилищ и подземных вод, является дополнительным фактором, увеличивающим дефицит водных ресурсов в стране. Вместе с тем, традиционные методы для устранения локальных загрязнений без устранения их первопричин, преобладающие в настоящее время в Сирии, а также выход из эксплуатации многих очистных сооружений в результате военных действий, стали основной причиной загрязнения поверхностных вод. Период нестабильности в значительной степени способствовал ухудшению состояния окружающей среды и угрозе устойчивого развития в различных отраслях республики. В этой связи доступность пресной воды стала важной проблемой, вызывающей беспокойство в Сирии, поскольку дефицит воды является основным препятствием для экономического развития и производства продуктов питания. При этом, несмотря на нехватку воды, сельское хозяйство, как один из важнейших секторов экономики республики, на долю которого приходится около 25% внутреннего продукта, остается основным потребителем значительных объёмов воды. Защита водных ресурсов от загрязнения и улучшение качества воды поверхностных источников являются первостепенными задачами на данный момент в Сирии. В то же время, следует отметить, что процесс очистки поверхностных вод является технически сложным и энергозатратным, а в условиях дефицита энергоресурсов в стране ещё и весьма дорогостоящим.

**Степень разработанности проблемы.** Проблемы использования водных ресурсов и повышения качества поверхностных вод при комплексных

мелиорациях изложены в работах И.П. Айдарова, А.И. Голованова, Т.И. Дровозовой, С.Д. Исаевой, Б.М. Кизяева, Л.В. Кирейчевой, В.П. Максименко, В.П. Шабанова, И.А. Шикломанова и др. Вопросы использования аэрации для улучшения состояния поверхностных вод, а также водохранилищ и прудов различного назначения, включая пруды-отстойники, развитие теории и практики применения систем аэрации, разработки и проектирование оборудования, получили широкое освещение в работах отечественных и зарубежных учёных: Л.Н. Брагинского, В.И. Виссарионова, Гришина Б.М., Жукова А.И., Я.А. Карелина, Ю. М. Мешенгиссера, Г.С. Попковича, Б.Н. Репина, С.С. Савушкина, Н.С. Серпокрылова, И.В. Скирдова, Б.М. Худенко, В.Н. Швецова, С.В. Яковлева, С.Е. Boyd, А. Аytac, G.T. Kelestemur, M.C. Tuna и др. Возможности возобновляемых источников энергии для аэрации естественных источников и улучшения качества воды, технические решения и результаты научных исследований рассмотрены в работах: В.И. Виссарионова, С.А. Лазарева-Марченко, Г.В. Дерюгиной, В.А. Кузнецовой, Н.К. Малинина, Н.И. Каримова, Д.К. Юлдашалиева, С.С. Турсуновой и др.

Учитывая, что сектор водных ресурсов Сирии характеризуется дефицитом воды, возрастающим в связи с изменением климата, низким уровнем управления водными ресурсами и прекращением работы многих водоочистных сооружений из-за разрушений объектов энергообеспечения, в условиях экономического кризиса в стране, связанного с войной, необходима разработка энергоэкономичных способов улучшения поверхностных вод.

Работа выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика»: п. 11. Разработка и исследование способов и систем обводнения территорий, водоснабжения, водоотведения, очистки и использования сточных вод населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных предприятий в целях сохранения водных ресурсов и повышения эффективности природопользования; п. 12. Исследование, разработка и мониторинг показателей качества источников воды для орошения и обводнения, разработка и совершенствование способов

улучшения состояния водоисточников, водоприемников сбросных и дренажных вод, их утилизации, а также восполнения и повышения качества поверхностных и подземных вод; 21. Разработка и исследование эффективности мероприятий и сооружений по управлению водными ресурсами и водохозяйственными системами мелиоративного назначения, а также водоохраных мероприятий и сооружений.

**Цель диссертационной работы:** Разработка, исследование и обоснование параметров технических решений для улучшения качества воды придонных слоёв водоёмов на основе использования возобновляемых источников энергии в условиях Сирии.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ и оценку современного состояния и использования, поверхностных водоисточников и особенностей гидрохимического режима водохранилищ Сирии.

2. Дать оценку существующих систем и устройств для улучшения качества придонных слоев воды поверхностных водоисточников, в том числе на основе использования возобновляемых источников энергии.

3. Разработать конструкции для улучшения качества воды естественных водоёмов на основе использования возобновляемых источников энергии с возможностью использования в условиях Сирии.

4. Провести лабораторные и натурные исследования с целью определения параметров, оценки работоспособности устройств и возможностей воздействия на показатели качества воды, в том числе на водных объектах Сирии.

5. Разработать методику расчета и проектирования, рекомендации по использованию устройств для улучшения качества поверхностных вод с использованием возобновляемых источников энергии.

**Научная новизна.** Разработан принцип создания устройств для улучшения качества придонных слоев воды естественных водоёмов с использованием возобновляемых источников энергии, что позволило получить теоретические зависимости для расчета параметров устройств для улучшения качества

придонных слоев воды водоёмов с использованием солнечной радиации. Результаты лабораторных и натурных исследований позволили оценить технические параметры устройств и их влияние на изменения показателей качества воды в процессе работы, в том числе в условиях солнечной радиации Сирии. Конструкции устройств для улучшения качества придонных слоев водоёмов на основе использования возобновляемых источников энергии, защищенных патентами на полезную модель.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы состоит в получении теоретических зависимостей для расчета объема ёмкости-накопителя и алгоритма проектирования устройства для аэрации придонных слоев воды поверхностных водоисточников на основе использования солнечной радиации. Практическая значимость заключается в разработке технических решений для улучшения качества поверхностных вод, защищенных патентами на полезную модель. Их применение повысит качество водных ресурсов поверхностных источников на основе использования солнечной энергии. Подтверждением практической значимости являются результаты повышения концентрации растворенного кислорода в воде водохранилища 16 Тишрин в Сирии в среднем от исходных значений 4,1 мг/л до 6,1 мг/л.

**Методология и методы исследования.** Методология исследований включала разработку методов расчета и конструктивных решений для улучшения качества поверхностных вод с использованием возобновляемых источников энергии в условиях Сирии. При проведении исследований использовались теоретические, лабораторные и натурные методы. Теоретические исследования базировались на использовании классических законов термодинамики. Лабораторные и натурные опыты выполнялись с применением современных методик и стандартного оборудования. Обработка результатов осуществлялась методами математической статистики с применением компьютерной программы Microsoft Excel.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты лабораторных исследований по оценке работы и технических

параметров устройства для аэрации придонных слоев воды поверхностных водоисточников в условиях солнечной радиации Сирии и искусственно создаваемого температурного режима в термокамере.

2. Результаты натуральных исследований по оценке изменений параметров качества воды в процессе работы устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях солнечной радиации Сирии и климатических характеристик прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии.

3. Методику расчета и алгоритм проектирования устройства для аэрации придонных слоев воды поверхностных водоисточников, основанного на использовании солнечной радиации.

4. Конструкции технических решений для аэрации придонных слоев воды поверхностных водоисточников на основе использования возобновляемых источников энергии, защищенных патентами на полезную модель.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждается анализом проблематики вопроса и полнотой исходной информации, достаточным объёмом экспериментального материала, использованием сертифицированных приборов и стандартных методик, методов статистической обработки данных, высоким уровнем корреляции теоретических и экспериментальных данных исследований. Основные результаты по теме диссертационного исследования докладывались на I Всероссийской (Национальной) конференции «Рациональное использование природных ресурсов: Теория, практика и региональные проблемы» (Омск, 2021); IV Международной научно-практической конференции «Наука и глобальные вызовы: перспективы развития» (Саратов, 2024); Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича (Москва, 2024), на заседаниях кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

**Личный вклад автора** заключается в анализе и оценке современного состояния качества поверхностных вод САР, участии в разработке технических решений устройств, организации, изготовлении экспериментальных установок, в

проведении лабораторных и натуральных исследований, обработке и анализе результатов экспериментов, формулировке заключения и предложений производству, а также в написании текста диссертации. В проведении натуральных исследований устройства на водохранилище 16 Тишрин принимали участие сотрудники лаборатории «Инженерной экологии», кафедры инженерной экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин в провинции Латакия, Сирия.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 7 патентов на полезную модель, 3 в списке изданий РИНЦ РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, рекомендаций и перспектив дальнейших исследований, списка литературы и трех приложений. Основное содержание работы изложено на 124 страницах, включает 40 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 138 источников, в том числе 46 на иностранном языке.

## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

### 1.1. Краткий анализ основных показателей качества воды природных источников

Качество воды является важным фактором, определяющим ее значимость, в том числе для водоснабжения, сельскохозяйственного производства и отдыха. Показатели качества воды зависят от многих факторов, наиболее важные из которых связаны с антропогенным влиянием на водные экосистемы, особенно с воздействием различных загрязнителей со стороны городского хозяйства, промышленности и сельского хозяйства. Значительное влияние оказывают результаты водохозяйственного строительства, например, речные гидроузлы, каналы, дренажные системы и др., а также природные условия, связанные с изменением климата, например, реакция водных организмов и их взаимодействие в пищевых цепях [113]. Современные исследования подтверждают тот факт, что ухудшение качества воды оказывает непосредственное влияние на количественную и качественную структуру биоценоза. Это сопровождается уменьшением биоразнообразия и исчезновением редких видов растений и животных [114].

Быстрый рост численности населения приводит к изменению объемов воды и химических элементов в ландшафтах и экосистемах, что в конечном итоге приводит к эвтрофикации пресной воды и ухудшению её качества. Снижение водозадержания на водосборах ускоряет сток воды и увеличивает объёмы азота, фосфора, углерода, кальция и других химических элементов, попадающих в пресную воду [112].

Увеличение количества экстремальных осадков, связанных с глобальным изменением климата, приводит к интенсивной эрозии и вымыванию питательных веществ и других химических веществ из водосборов, что влияет на качество воды в водоемах.

Исследования по совершенствованию показателей качества воды основаны на анализе большого набора многочисленных и переменных параметров для получения единого числового значения, которое дает логическое выражение качества воды водного объекта, после сравнения этого значения со стандартами систематической классификации, специфичными для каждого показателя [24].

По данным обширных исследований отечественных и зарубежных специалистов, наиболее распространенными физико-химическими параметрами являются растворенный кислород, рН, температура, мутность и биохимическое потребление кислорода (БПК) [91, 121, 127, 129, 130].

В работе Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. приведен обширный анализ и сравнение результатов используемых моделей показателей качества воды, которые включали более 20 показателей качества, используемых во всем мире. В ходе исследования была обнаружена большая разница между показателями оценки качества воды с точки зрения типа и количества используемых параметров, а также оснований их выбора, однако большинство моделей качества использовали от 8 до 11 показателей качества воды. Также было показано, что важнейшим параметром (наивысший вес) во всех моделях показателей оценки качества водных объектов является растворенный кислород [129].

Так, например, основные задачи, которые решаются в процессе рыбохозяйственных мелиораций – это улучшение показателей гидрологического, гидрогеохимического, экологического состояния водных объектов, обеспечивая оптимальные значения, в первую очередь, температуры и содержания растворенного кислорода, а также водородного показателя (рН) и биохимическое потребление кислорода.

**Растворенный кислород (РК).** Растворенный кислород является одним из ключевых параметров для оценки качества воды, а также здоровья экосистемы. Значение показателя растворенного кислорода означает, что определенное количество газообразного кислорода ( $O_2$ ) растворено в водном растворе. Низкое содержание растворенного кислорода в воде может быть показателем низкой эффективности процесса окисления микроорганизмами или бактериями [107].

Растворенный кислород необходим для процессов дыхания водных организмов, и поэтому его содержание в воде не должно быть меньше минимально необходимого для всех этих процессов [104, 27]. Кроме того, растворенный кислород является показателем, который играет основную роль в способности источника воды к самоочищению и является индикатором биологической активности, изменение его концентрации напрямую отражает изменение качества воды в источнике воды [115].

Важнейшими процессами, способствующими обогащению воды кислородом, являются [40]:

– абсорбция кислорода непосредственно из атмосферы, этот процесс происходит в поверхностных слоях воды водоёма, причем скорость этого процесса увеличивается с повышением давления и понижением температуры;

– выделение кислорода водной растительностью в процессе фотосинтеза, возрастающее с увеличением интенсивности солнечного освещения и повышением температуры воды;

– поступление кислорода в источник воды с богатой им дождевой водой и снегом.

А процессы, вызывающие снижение концентрации растворенного кислорода в воде, включают [49]:

– потребление живыми организмами в процессе дыхания;

– потребление бактериями в процессе разложения органических веществ.

– потребление в реакциях окисления ( $Mn^{+2}$ ,  $CH_4$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $H_2S$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_2^+$ ), протекающих в водных средах.

Скорость потребления растворенного в воде кислорода увеличивается с повышением температуры воды и количества присутствующих в этой воде органических веществ, бактерий, рыб и других живых организмов [132]. Концентрация растворенного кислорода в поверхностных водах варьирует в пределах от 0 до 14 мг/л в зависимости от температуры воды, атмосферного давления и солености воды. Интенсивность ежедневного производства и потребления растворенного кислорода в поверхностных водах может достигать

2,5 мг/л [22]. Для поддержания хорошего экологического состояния естественных водоемов и обеспечения здоровой жизнедеятельности присутствующих в них водных организмов концентрация растворенного кислорода в водоёмах рыбохозяйственного назначения не должна быть менее 6 мг/л [53].

**Уровень рН.** Уровень рН признан регулирующим фактором в водных системах, и биологические компоненты серьезно страдают при крайних значениях рН. В водных экосистемах фотосинтез и дыхание часто являются наиболее важными процессами, влияющими на рН. Фотосинтез производит кислород и повышает рН; аэробное дыхание потребляет кислород и снижает рН [109].

Все биологические и химические процессы, происходящие в естественных водоемах, в значительной степени зависят от величины рН воды, поэтому величина рН считается одним из важнейших показателей, используемых при оценке качества воды в естественных водоемах [107].

Процессы фотосинтеза, осуществляемые водными растениями, контролируют изменения значений рН воды (в процессе фотосинтеза водные растения потребляют  $\text{CO}_2$  и выделяют  $\text{OH}^-$ ). Также важными источниками ионов водорода являются гумусовые кислоты, присутствующие в грунте водного источника [88, 124].

По требованиям водоемов для рыбохозяйственного назначения величина рН должно находиться в пределах 6,5–8,5. [28, 44].

**Температура воды.** Температура воды является одним из основных абиотических факторов, влияющих на структуру и функционирование водных экосистем, и ее изменение может иметь важные последствия для биологических сообществ.

Температура воды влияет на растворимость газов (например, кислорода) и загрязняющих веществ, токсичность химикатов, рН, плотность и электропроводность. Более того, температура контролирует циклы питательных веществ, деградацию органических веществ и первичное производство. Как правило, более высокие температуры способствуют микробной метаболической активности и фотосинтезу и влияют на развитие и продуктивность биотических

сообществ [101].

Основными факторами, влияющими на температуру воды, являются ветер, температура воздуха, солнечная радиация, естественные гидрологические явления и регулирование работы водохранилища. На самом деле, солнечная радиация обеспечивает не менее половины тепла в поверхностном теплообменнике и подводной теплопроводности [123].

Температура воды влияет на фитопланктон как напрямую, влияя на его физиологию и скорость метаболизма, так и косвенно, влияя на его водную среду роста и на других членов его сообщества [138].

**Мутность.** Мутность – это оптическая мера прозрачности, характеризующая физическую прозрачность жидкости. Мутность природных вод вызвана взвешенными неорганическими (отложения и т. д.) и органическими (водоросли, микроорганизмы и т. д.) частицами и окрашенными растворенными веществами, которые поглощают и рассеивают свет и снижают прозрачность воды.

Мутность является важным параметром, которому необходимо следовать при мониторинге окружающей среды, поскольку ее можно использовать как индикатор состояния водных объектов или как косвенный показатель общего содержания взвешенных веществ в воде, для характеристики гидроэкологических процессов и освещенности в экосистеме озера или водохранилища [128, 137].

Сильно мутная вода может нанести вред водной экосистеме, поскольку влияет на биологические, химические и физические процессы в водоемах, так как высокие уровни взвешенных твердых веществ повышают температуру воды, снижают уровень растворенного кислорода и скорость фотосинтеза, поглощая больше тепла от солнечного излучения, которое затем передается окружающей воде [93, 126, 134].

**Биохимическое потребление кислорода (БПК).** Биохимическое потребление кислорода – это количество кислорода, необходимое бактериям для разложения органических веществ присутствующих в воде. Как только биоразлагаемые органические вещества попадают в воду, микроорганизмы

питаются ими, расщепляя их на более простые органические и неорганические вещества. В результате этого разложения образуются безопасные стабильные конечные продукты ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{PO}_4$  и  $\text{NO}_3$ ) и снижается содержание растворенного кислорода в воде [111].

Биохимическое потребление кислорода является важным показателем, отражающим степень органического загрязнения водоемов и широко используемым в мониторинге качества воды, контроле загрязнения и управлении водными ресурсами – чем выше значение БПК, тем серьезнее загрязнение [122].

Высокие концентрации биохимической потребности в кислороде снижают доступность кислорода, ухудшают водную среду обитания и биоразнообразие, а также ухудшают использование воды. Высокие нагрузки по БПК в пресноводные системы происходят в основном из антропогенных источников, включая бытовые и животноводческие стоки, прорывы промышленных и канализационных систем [131].

Величина БПК в воде обратно пропорциональна количеству растворенного в ней кислорода, при высоком значении БПК растворённый кислород снижается, и состояние воды ухудшается. Степень загрязнения водоемов варьирует в зависимости от изменения в них значений БПК от 0,5-1,0 до 4,0-10,0 мг/л. Для водоемов рыбохозяйственного назначения величина БПК не должна превышать 2 мг/л [43].

## 1.2. Современное состояние природных водоисточников и особенности гидрохимического режима водохранилищ западных провинций Сирии

Сирия расположена в Западной Азии, на восточном побережье Средиземного моря, между  $32^\circ 19'$  и  $37^\circ 25'$  градусами Северной широты и  $35^\circ 43'$  и  $42^\circ 25'$  восточной долготы. Сирия граничит на севере с Турцией, на востоке – с Ираком, на юге – с Иорданией и Палестиной, а на западе – с Ливаном и Средиземноморьем, общая площадь составляет 18 517 971 га, из них 6 млн. га – земли сельскохозяйственного назначения, а остальное – степи и скалистые горы

[117]. Население Сирии составляет 28808584 человека [87]. Сирия известна своим особым расположением, которое является центром трех наиболее доминирующих континентов мира – Азии, Европы и Африки (рисунок 1.1).

Климат в Сирии средиземноморский, характеризуется дождливой зимой и жарким, и сухим летом. Зимой температура умеренная, хотя ночью в горах может образовываться заморозки. Периодичность выпадения осадков составляет от 100 до 1400 мм в год. Летом в большинстве регионов температура поднимается выше 30°C, а иногда может превышать 40°C. Погода в этот сезон обычно очень сухая, с высоким уровнем испарения [117].



Рисунок 1.1 – Географическое положение Сирии

По данным ФАО, к 2025 году 1800 миллионов человек будут жить в условиях «абсолютного» дефицита воды (менее 500 м<sup>3</sup> в год на душу населения), в то время как две трети мирового населения будут жить в «стрессовых» условиях (от 500 м<sup>3</sup> в год на душу населения) [116]. Более того, последняя информация,

наряду со многими исследованиями, предполагает острую потребность в новых устойчивых системах использования и управления водными ресурсами в регионе Ближнего Востока.

Ожидается, что в Средиземноморском регионе, где проживает 7% мирового населения и примерно 2% доступной пресной воды, произойдет повышение температуры; вполне вероятно, что повышение температуры, скорее всего, повлияет на баланс водного цикла в регионе, причем растущий спрос и потребление воды в различных секторах. Согласно исследованиям, Ближний Восток испытывает острую нехватку воды и конфликты, вызванные наличием воды, в то время как большинство его стран эксплуатируют более 50% ресурсов пресной воды, а некоторые страны эксплуатируют до 100%. По данным ESCWA, Сирия входит в список стран, испытывающих дефицит воды, поскольку доля возобновляемых водных ресурсов на душу населения в Сирии достигнет 732 кубометров ежегодно в 2025 году и снизится до 600 кубометров ежегодно в 2050 году [120].

Результаты показывают, что количество доступной воды в Сирии уменьшится примерно вдвое к 2050 году из-за изменения климата и роста населения. Состояние нестабильности в значительной степени способствовало ухудшению состояния окружающей среды и еще больше угрожает устойчивому развитию в различных областях [119].

Доступность пресной воды стала важной и вызывающей беспокойство проблемой в Сирии, поскольку вода является основным препятствием для экономического развития и производства продуктов питания, и, несмотря на нехватку воды в Сирии, сельское хозяйство, которое является наиболее важным сектором экономики и на долю которого приходится около 25% внутреннего продукта, является крупнейшим потребителем воды [110].

Среднегодовые водные ресурсы, доступные к использованию после испарения, за период с 1992 по 2012 годы составили около 14 917,13 млн. куб. м, а среднее водопотребление – 16 174 млн. куб. м, т. е. 108% имеющихся водных ресурсов. Средний объем используемой воды составлял около 16,5 млрд. куб. м в

год, 89% – для сельского хозяйства, 8% – для бытового использования и 3% – для промышленного использования. Общий спрос на воду со временем почти неуклонно растет, общее потребление воды увеличилось с 12 769 млн. куб. м в 1993 году до 17 757 млн. куб. м в 2012 году [125].

Из-за засухи и возросшего спроса на воду, Сирия в последние годы достигла предела водной бедности или даже ниже ее, поскольку считается, что предел водной бедности составляет 1000 кубических метров воды на душу населения в год, и это также находится на пути к сокращению с ростом населения и последствиями, которые возникнут в результате сирийского кризиса. Рост населения и изменение климата привели к дефициту воды по всей Сирии, что связано с последовательными сезонами засухи и чрезмерное истощение воды [119].

Водные ресурсы Сирии ограничены. Они неравномерно распределены по отношению к населению, которое подвергает эти ресурсы высокому давлению. общие ресурсы поверхностных и подземных вод оцениваются примерно в 14 миллиардов кубических метров, десять из которых являются поверхностными и четыре – подземными водами, а годовое потребление составляет примерно 17,5 миллиардов кубических метров, что свидетельствует о дефиците воды в 3,5 миллиардов кубических метров, в то время потребность воды только в сельском хозяйстве составляет 15,5 миллиардов кубических метров [94].

Общая площадь земель, используемых для орошения, в 2021 году оценивалась примерно в 2,7 млн. га, или 14,5% от общей площади сирийских земель. Наибольший процент орошаемых земель приходится на восточные и северо-восточные регионы Сирии [87].

Прогноз изменения климата на будущее указывает на острую необходимость совершенствования систем управления водными ресурсами. В Сирии существующие системы управления водными ресурсами слабы, и страна не способна противостоять нехватке водных ресурсов [105].

Водные ресурсы Сирии подвергаются большому количественному и качественному давлению, которое усиливается следующими факторами [119]:

темпами роста населения; низкой эффективностью орошения в сельском хозяйстве – основным потребителем водных ресурсов; засухами и отсутствием осадков; изменениями моделей потребления и образа жизни людей, связанными с расширением городских территорий; увеличением спроса на питьевую воду; ускорением экономического роста и увеличением спроса на воду промышленностью и связанными с этим отходами.

Нынешние системы управления водными ресурсами в Сирии недостаточно эффективны, отсутствие надлежащих решений по цикличности гидрологической системы в Сирии может существенно повлиять на средства к существованию ее жителей в будущем. Кроме того, из-за состояния войны, которую пережила Сирия, многие очистные сооружения до сих пор не работают [105].

Сброс неочищенных канализационных, промышленных и сельскохозяйственных сточных вод в земли и водные объекты приводит к ухудшению состояния водных экосистем рек, водохранилищ и подземных вод, выведению их из круга выгодного инвестирования, а также к возникновению вреда для здоровья и снижению хозяйственного и рекреационного значения многих водных объектов. Традиционные методы используются в Сирии для устранения локального загрязнения без устранения его первопричин, а выход из эксплуатации многих очистных сооружений из-за условий, преобладающих в настоящее время в Сирии, стал основной причиной загрязнения поверхностных вод. Также указывается, что сточные воды используются в сельскохозяйственных целях без предварительной очистки и, таким образом, создают различные риски для здоровья человека и других организмов [119].

Исследователи Махмуд и Сайег в 2015 году заявили, что процесс объединения природных ресурсов, особенно водных, человеческих и производственных ресурсов каждого региона страны, является одним из важнейших вопросов, который следует принимать во внимание, когда речь идет о сбалансированном развитии, обеспечивающем экологический и водный баланс на уровне Сирии. Процесс развития, который происходил в Сирии, привел к концентрации экономической деятельности в основных городах, особенно в

Алеппо и Дамаске до войны, и массовому исходу сирийских граждан из своих городов в более безопасные районы, такие как Латакия и Тартус, где увеличение численности населения привело к несбалансированному распределению между источниками водоснабжения и районами потребления на уровне Сирии, что привело к истощению водных ресурсов и ухудшению качества воды, особенно в мухафазах сирийского побережья, таких как Латакия и Тартус [125].

Основными проблемами сектора водных ресурсов в Сирии являются [119]:

– ограниченные водные ресурсы в Сирии по сравнению с растущим спросом на воду в свете растущего населения и быстрого экономического и сельскохозяйственного роста;

– чрезмерные инвестиции в развитие водных проектов без специальной стратегии устойчивости этого развития;

– количество доступных водных ресурсов не значительно увеличилось, несмотря на усилия по освоению традиционных водных ресурсов, особенно поверхностных;

– несправедливое и неустойчивое использование ресурсов подземных вод, особенно для орошения сельскохозяйственных территорий, потребности которых превышают возобновляемые водные ресурсы;

– изменения климата и продолжающиеся периоды засухи представляют собой серьезную угрозу сокращению количества доступных водных ресурсов в будущем;

– возможность уменьшения доли Сирии в водных ресурсах, разделяемых с соседними странами в случае, если потребности в воде стран верхнего течения вырастут, и они будут стремиться инвестировать больший объем воды различными способами;

– проблемы, связанные с качеством воды, поскольку отчеты указывают на наличие загрязнения различными загрязняющими веществами на различных и недопустимых уровнях во многих водоемах.

Водные ресурсы Сирии делятся на семь основных водных бассейнов (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Водные бассейны в Сирии

Водосборный бассейн	Площадь поверхности, км <sup>2</sup>	Среднегодовое количество осадков, млн. м <sup>3</sup>	Общее количество доступной обычной воды, млн. м <sup>3</sup>
Барада	8596	2297	881
Эль-Ярмук	6721	6822	332
Тигр и Хабур	21129	10691	2207
Евфрат	51238	9800	7933
Бадия	70786	1930	179
Эль-Аси	21624	6603	2246
Прибрежный Бассейн	5086	8493	4160
Итого	185180	46636	17938

Эти бассейны имеют уникальные характеристики: Барада, Эль-Ярмук, Эль-Аси, Тигр и Хабур, Евфрат, Бадия и Прибрежный Бассейн (таблица 1.1) [87, 99, 105].

На рисунке 1.2 приведена схема распределения водных бассейнов и водохранилищ на территории Сирии, а также объём воды, доступной для использования в этих бассейнах.

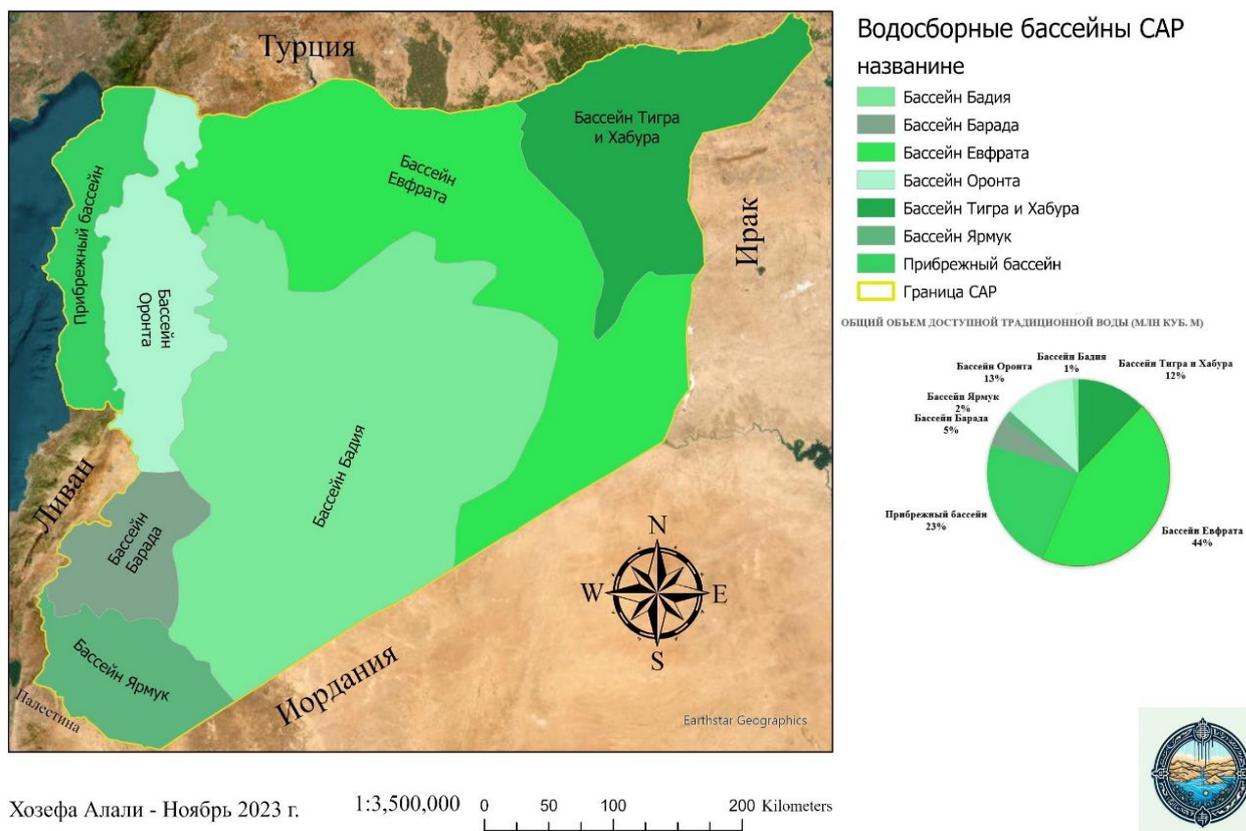


Рисунок 1.2 – Распределение водных бассейнов в Сирии и объёмов воды доступной для использования в этих бассейнах

Бассейны Евфрата, Тигра и Хабур обладают относительным избытком подземных вод, но доступные количества ограничены и вряд ли могут удовлетворить потребности развития в необходимом масштабе. Хотя прибрежный бассейн имеет относительно большие излишки, он недоступен для общего использования из-за загрязнения воды, а также будущие потребности этого региона с точки зрения развития сельского хозяйства, туризма и промышленности [117].

Поверхностные водные ресурсы Сирии включают ряда водохранилищ и рек, которые делятся на внутренние и трансграничные, совместно используемые соседними странами. В таблице 1.2 представлены длины рек, расположенных на территории Сирии, и их среднегодовой расход [87].

Таблица 1.2 – Длина рек на сирийской земле и их среднегодовой расход

Название реки	Длина, км		Среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /сек
	Общая длина	На сирийской территории	
Евфрат	2880	680	399
Оронг	485	366	11,08
Аль-Хабур	477	402	0,06
аль-сажур	125	45	-
Аль-Джагджаг	124	100	0,04
Аль-Кабир аль-Шамали	56	56	2,56
Барада	81	81	1,79
Аль-Балих	78	26	0,93
Аль-кабир Аль-жануби	76	56	2,07
Аль-Авадж	70	70	1,13
Аль-Ярмук	65	45	-
Сибарани	32	32	-
Абу Кобис	6	6	-
Аль-Синн	6	6	2,59

В настоящее время в Сирии создано и используется более 80 водохранилищ разных по объёму и площади водной поверхности, распределенных по многим провинциям страны, сведения о двенадцати из них, в том числе крупнейшем, объёмом 14,1 млрд. куб. м, водохранилище Евфрат в провинции Ракка, приведены в таблице 1.3 [87].

Запасы подземных вод, несмотря на возрастающий объем их использования в Сирии в последнее время, не могут обеспечить необходимое количество воды, а поверхностные источники значительно перегружены и эксплуатируются нерационально [94, 99]. Кроме того, реализация международных соглашений по трансграничным рекам, необходимая мера для повышения эффективности использования воды и производительности аграрного сектора страны.

Таблица 1.3 – Основные водохранилища Сирии (данные на 2021 г.)

Водохранилище	Местонахождение	Объем водохранилища, млн. м <sup>3</sup>
Евфрат	Ракка	14100
Тишрин	Алеппо	1883
Хабур	Эль-Хасака	605
Эль-Растан	Хама	250
8 Марта	Эль-Хасака	234
16 Тишрин	Латакия	210
Катина	Хомс	200
17 Апреля	Алеппо	190
Мученик Бассель Аль-Асад	Тартус	103
Аль-Тура	Латакия	97
7 Апреля	Эль-Хасака	91
Эль-Басс	Ракка	90

Сельскохозяйственная деятельность в Сирии представляет собой важный источник продовольствия для населения и экономики страны в целом, что указывает на важность усилий по повышению эффективности использования воды для производства высокого урожая [87, 110, 119].

Выполненный нами анализ водно-физических и гидрохимических свойств водохранилищ западной Сирии (16 Тишрин, Аль-Музайне и Музейриб) включал оценку возможностей использования их водных ресурсов в сельском хозяйстве и водоснабжении населения, а также как перспективных объектов для внедрения инновационных технологий улучшения качества воды [34, 35, 50].

Водохранилище 16 Тишрин расположено на северо-западе Сирии на восточном побережье Средиземного моря в провинции Латакия, примерно в 20 км

к северо-востоку от центра провинции – города Латакия. Водохранилище создано земляной плотиной высотой 52 м, шириной по гребню 12 м, длиной по гребню 915 м, шириной по основанию 240 м в русле реки Ал Кабир Ал Шамали, площадь водосборного бассейна 1096 км<sup>2</sup>, объем водохранилища около 210 млн. м<sup>3</sup>, полезный объем 120 млн. м<sup>3</sup>, площадь водной поверхности около 11.2 км<sup>2</sup>, длина водохранилища 11 км, отметка нормального подпорного уровня 74.70 м.

Водоохранилище Аль-Музайна считается одним из важнейших водных объектов региона Хомс, в бассейне Аль-Сахеле, построено в 2003 году. Объем водохранилища 19,2 млн. м<sup>3</sup>, обеспечивает водой для орошения около 4000 га земель.

Водоохранилище Музейриб расположено примерно в 12 км к западу от города Дарья, его площадь составляет 104 562 м<sup>2</sup>, имеет 333 м в длину, 313 м в ширину и около 5,2 м в глубину, питается водой из Вади Аль-Дахаб, Вади Айн Аль-Басал и источника Аль-Мзереб, который является одним из главных источников в котловине Аль-Харир, куда поступают воды из районов Джебель Аль-Араб и Джебель Аль-Шейх.

Для рассмотренных водохранилищ ниже приведены данные по двум физическим показателям – мутность (мг/дм<sup>3</sup>) и температура (°С) воды; двум химическим – растворенный кислород (мг/дм<sup>3</sup>) и БПК<sub>5</sub> – биохимическое потребление кислорода за 5 суток (мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

*Мутность воды.* Характеристики изменения мутности воды в течение года по анализируемым водохранилищам приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Динамика изменения мутности воды по водохранилищам (мг/дм<sup>3</sup>)

Месяц, года	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
16 Тишрин	4,2	3,8	2,9	2,6	2,8	3,5	4,2	5,8	21,5	25,5	19,0	4,8
Аль-Музина	17,2	15,1	13,2	12,1	10,9	15,9	18,5	22,8	27,5	30,8	35,5	32,4
Музейриб	30,0	30,0	50,0	75,0	120,0	200,0	250,0	300,0	325,0	30,0	25,0	30,0

По данным таблицы 1.4 максимум мутности в водохранилищах 16 Тишрин и Аль-Музайне соответствует периоду максимального дождевого стока (декабрь–февраль), а в водохранилище Музейриб значительно выше (в отдельные месяцы

более чем на порядок), что объясняется особенностью водосборной площади этого водохранилища, расположенного в урбанизированной территории.

*Температура воды.* Закономерности изменения температуры воды являются важным фактором, влияющим на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которых в значительной степени зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения.

Для анализируемых водохранилищ температура имеет два выраженных периода – жаркий и прохладный (рисунок 1.3). Жаркий период, когда температура воды превышает 25 °С, составляет около четырех месяцев от середины июня до середины октября. На водохранилищах с температурой 25-30 °С, в значительной степени увеличивается численность водной микрофлоры, чаще обнаруживаются патогенные представители кишечной группы микробов, численность зоопланктона как агента биологического самоочищения уменьшается, наступает дефицит кислорода с нежелательными последствиями (неприятный запах, «цветение» и др.).

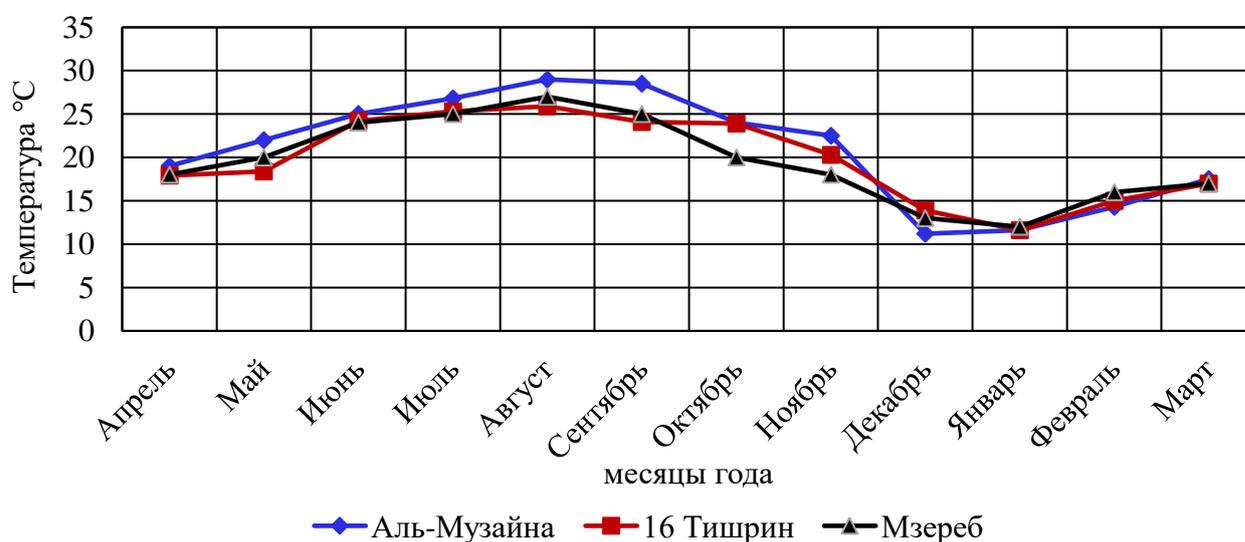


Рисунок 1.3 – Динамика изменения температуры воды в водохранилищах

*Растворенный кислород.* Закономерности изменения содержания растворенного кислорода, соответствует основным закономерностям изменения температуры воды в водохранилищах (рисунок 1.4).

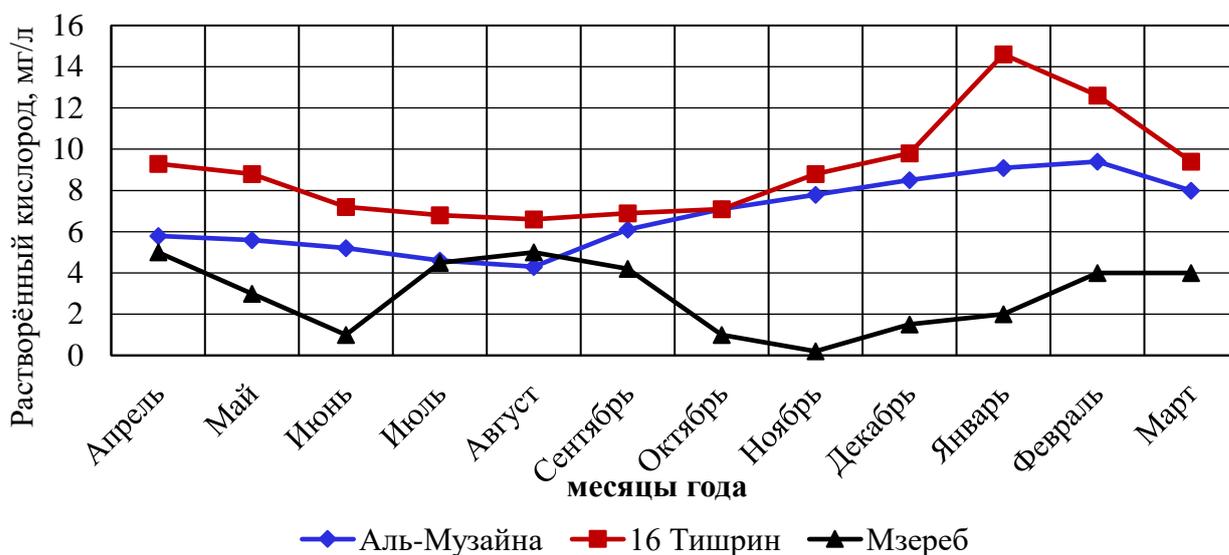


Рисунок 1.4 – Динамика изменения растворенного кислорода в водохранилищах

Вместе с тем количественные значения данного параметра для условий водохранилища Музейриб, в среднем по году (2,9 мг/л), значительно ниже нормативных и изменяются в течение года несколько спонтанно, а в ноябре снижаются практически до нуля (0,2 мг/л), что свидетельствует об интенсивных окислительных процессах, происходящих в данном водохранилище.

*Биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>)*. Показатели БПК<sub>5</sub> водохранилищ 16 Тишрин и Аль-Музейна отражают характер изменения содержания кислорода в воде, в отличие от показателей водохранилища Музейриб, которые свидетельствуют о наличии в воде веществ, вступающих в реакцию с растворённым в воде кислородом, завышая показатели БПК (рисунок 1.5).

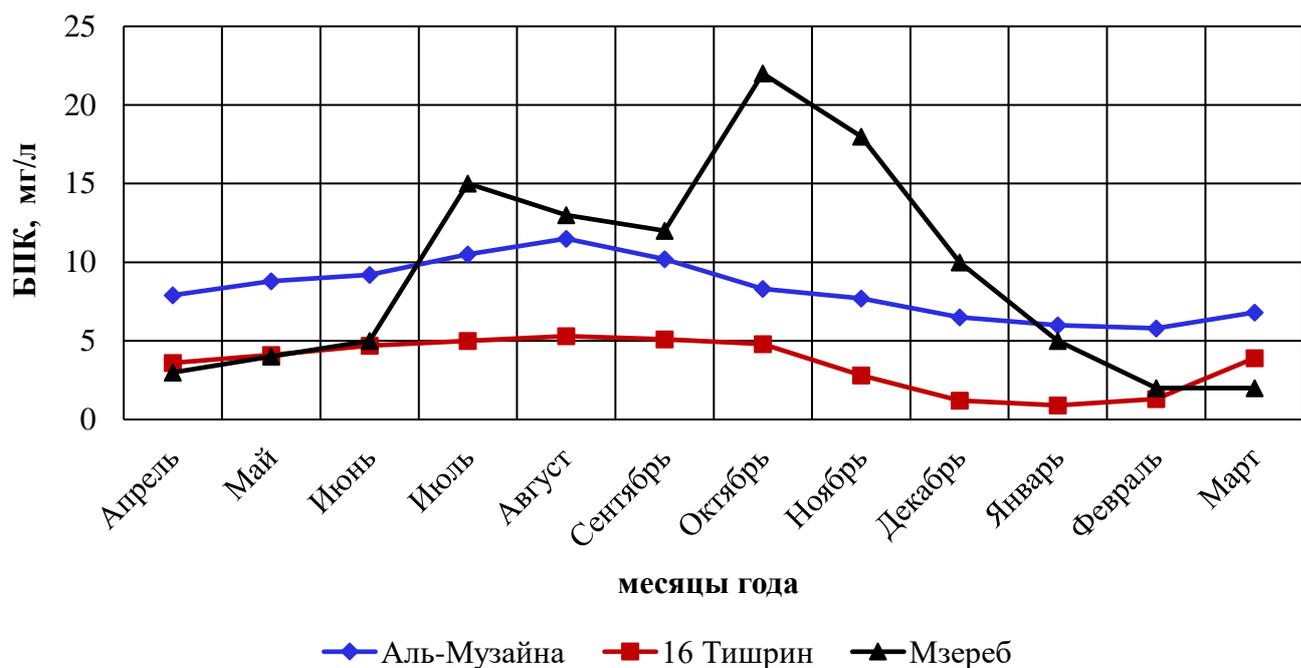


Рисунок 1.5 – Динамика изменения БПК водохранилищ

По результатам анализа воды водохранилищ западных провинций Сирии, можно сделать вывод, что водные ресурсы данных объектов соответствуют показателям качества для орошения, однако не соответствуют допустимым значениям стандартов Сирии для питьевой воды.

Одним из путей решения проблем качества водных ресурсов является создание системы государственного мониторинга показателей водных объектов, разработку и реализацию мероприятий для улучшения показателей качества природных вод с минимальными затратами топливно-энергетических ресурсов.

### 1.3. Сравнительный анализ существующих подходов, методов и технических решений по улучшению качества природных вод

Загрязнение воды относится к процессу, при котором избыток азота (N), фосфора (P) и других неорганических питательных веществ, попадая в относительно закрытый или медленнотекущий водоем (озеро, водохранилище и пресноводные водно-болотные угодья), стимулируют развитие водорослей и фитопланктона, приводят к снижению растворенного кислорода и ухудшению качества воды, и как результат, гибель рыб и других водных обитателей. Разложение водорослей в бескислородных условиях дополнительно

высвобождает питательные вещества обратно в воду для использования следующим поколением водорослей. Эвтрофикация может привести к цветению токсичных цианобактерий в озерах и водоемах и размножению водорослей в прибрежных районах, что проявляется в гибели местных водных организмов, сокращении биоразнообразия и воздействии на здоровье человека.

Современные методы улучшения качества воды в природных водоемах, прежде всего механические, иногда связаны с коренным воздействием на водный объект и не всегда дают ожидаемого эффекта, в этой связи рекомендуется использовать комплекс методов восстановления, которые способствуют формированию процессов, аналогичных процессам, происходящим в естественных природных условиях [136].

Так в работе Ермаченко, П. А., Середин, Д. С., Зверева, Н. А. и др. рекомендуется прибегать к комплексной биологической мелиорации, которая активизирует самоочищение внутри водоемов процессами и методами, аналогичными природным, используется понятие как природоподобная технология, основанная на активизации естественных процессов самоочищения водных объектов. Предложенный подход рассматривается как альтернатива применяемой механической очистке водоемов, так как, по мнению авторов, проводимые при этом компенсационные мероприятия по зарыблению объектов без комплекса биологических мероприятий не дают ожидаемый эффект и зачастую провоцируют массовый замор рыб [26].

В работе приведены многочисленные примеры и результативность применения различных методов (летования, известкования, изменения гидравлического режима и др.) для оздоровления водоёмов, а также выполнен сравнительный анализ отличий в подходах по оздоровлению водоемов между традиционными механическими и природоподобными методами, материалы которого приведены в таблице 1.5 [26].

Таблица 1.5 – Сравнительный анализ альтернативных подходов к оздоровлению водоемов (Ермаченко, П. А., Середин, Д. С., Зверева, Н. А. и др. [26])

Существующая ситуация	Биологическая мелиорация
Проведение дноуглубительных работ и (или) работ по выемке грунта	Бережная очистка ложа водоёмов только от иловых отложений
Поддержание в зарегулированных водоемах постоянного уровня воды	Регулярное затопление / осушение зарегулированных водоемов (летование)
Извлечение затонувших кораблей, выполняющих роль искусственных рифов	Сохранение естественных и устройство искусственных нерестилищ и рифов
Изъятие хищных и малоценных видов водных биоресурсов	Увеличение численности хищных рыб (судак, щука и др.). Увеличение биоразнообразия
Механическое удаление водных растений	Вселение растительноядных рыб (белого амура, белого и пёстрого толстолобиков и др.). Увеличение числа уток, гусей, нутрий с целью борьбы с зарастанием водоемов
Запрет внесения любых реагентов в водный объект	Известкование с целью оптимизации качества водной среды
<b>Результат</b>	
Деградация водоема. Регулярное цветение. Лимнологическая катастрофа. Снижение качества воды. Ухудшение санитарного состояния, вплоть до прекращения питьевого водоснабжения	Оздоровление водного объекта. Максимально естественная биопродуктивность в пределах данной климатической зоны. Высокое качество воды, соответствующее санитарным требованиям

Завершая анализ этой работы, следует отметить, что в условиях интенсивной антропогенной нагрузки на водные объекты и процессов, связанных с изменением климата, использование только природоподобного подхода не оправдано, следует рассматривать весь комплекс современных средств и методов.

И еще, в данной работе, очевидно, следует использовать понятие

«комплексная биологическая мелиорация водных объектов», поскольку комплексные биологические мелиорации нашли широкое развитие и применение при мелиорации земель и достаточно полно освещены в работах отечественных ученых, например [6, 23, 39, 41, 46, 90].

За последние десятилетия было разработано множество технологий, основанных на традиционных подходах и новых, использующих возможности физические, химические и биологические процессы для улучшения качества воды поверхностных источников и удаления из них загрязняющих веществ, классификация существующих технологий представлена на рисунке 1.6 [135].

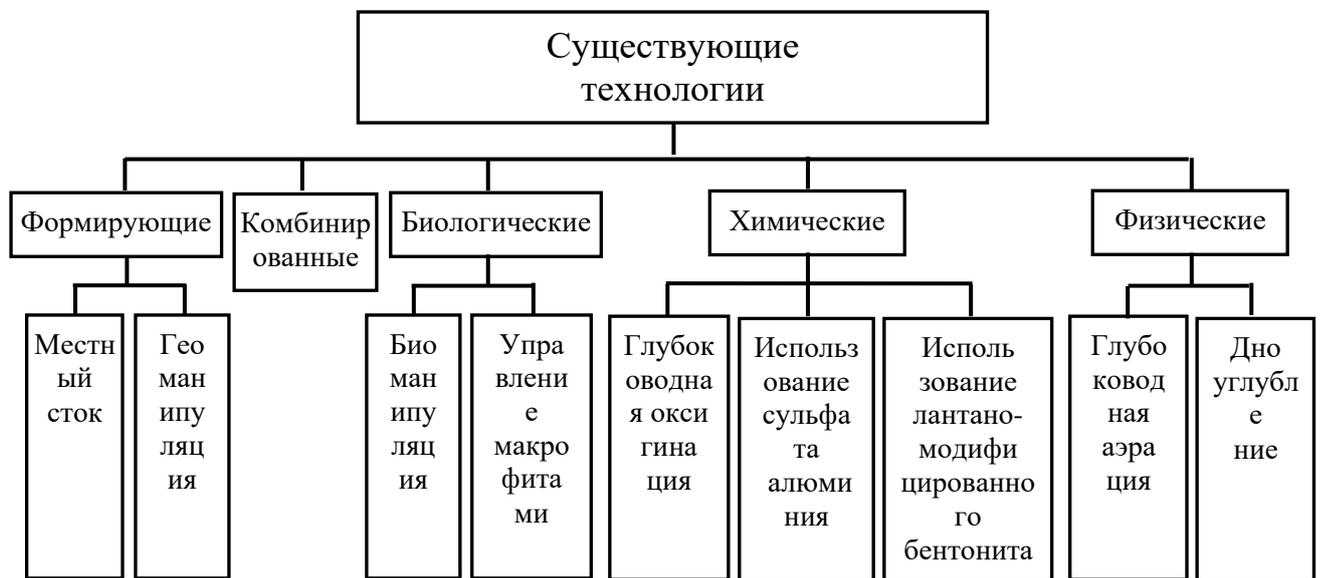


Рисунок 1.6 – Классификация методов улучшения качества воды поверхностных источников (по Zhang, Y., Li, M., Dong, J., ... & Wang, H. [135])

Хотя существуют многочисленные исследования, направленные на улучшение качества воды в прудах и водоемах, сравнительно мало методов, доказавших свою эффективность для этих условий. К числу таких методов относятся искусственная аэрация, которая характеризуется введением атмосферного кислорода в воду посредством формирования пузырьков и играет ключевую роль в эффективном повышении концентрации растворенного кислорода, одновременно способствуя удалению металлов и растворенных газов. В то время как естественная аэрация зависит от атмосферной диффузии и фотосинтеза растений, растущие потребности улучшения качества воды в

загрязненных водохранилищах подчеркивают необходимость в методах искусственной аэрации для удовлетворения растущей потребности в растворенном кислороде.

Использование аэрации для улучшения состояния естественных водоемов, водохранилищ и прудов различного назначения, разработки оборудования и проектирование систем аэрации получили широкое развитие и использование в последние десятилетия. Значительный вклад в развитие теории и практики применения систем аэрации внесли такие отечественные учёные, как Л.Н. Брагинский, В.И. Виссарионов, Гришин Б.М., Жуков А.И., Я.А. Карелин, Ю. М. Мешенгиссер, Г.С. Попкович, Б.Н. Репин, С.С. Савушкин, Н.С. Серпокровлов, И.В. Скирдов, Б.М. Худенко, В.Н. Швецов, С.В. Яковлев и других, среди зарубежных ученых С.Е. Boyd, А. Аytac, G.T. Kelestemur, M.C. Tuna и других [7, 8, 11, 14-16, 21, 29, 37, 45, 48, 80, 83, 85, 86, 92, 102].

Искусственная аэрация обеспечивается разнообразными запатентованными техническими решениями, включающими фонтаны, компрессоры, струи, гидравлические системы [1–5, 59–61, 63, 75] и др.

Многочисленные исследования и систематизация типов конструкций аэраторов стали основой для создания классификаций технических решений по основным признакам и особенностям работы.

На рисунке 1.7 приведена классификация аэраторов, предложенная в монографии «Промышленные и альтернативные аэраторы на основе зелёной энергетики для рыбных водоёмов и озёр» [7], опубликованной в 2023 году. На наш взгляд это наиболее полная классификация технических решений обеспечивающих аэрацию придонных слоев воды поверхностных водоисточников.

В основе классификации использованы, пять признаков, характеризующих способы «создания развитой поверхности контакта между водой и воздухом при одновременном перемешивании воды»: кинетические; механические; пневматические; гидромеханические; пневмогидравлические.

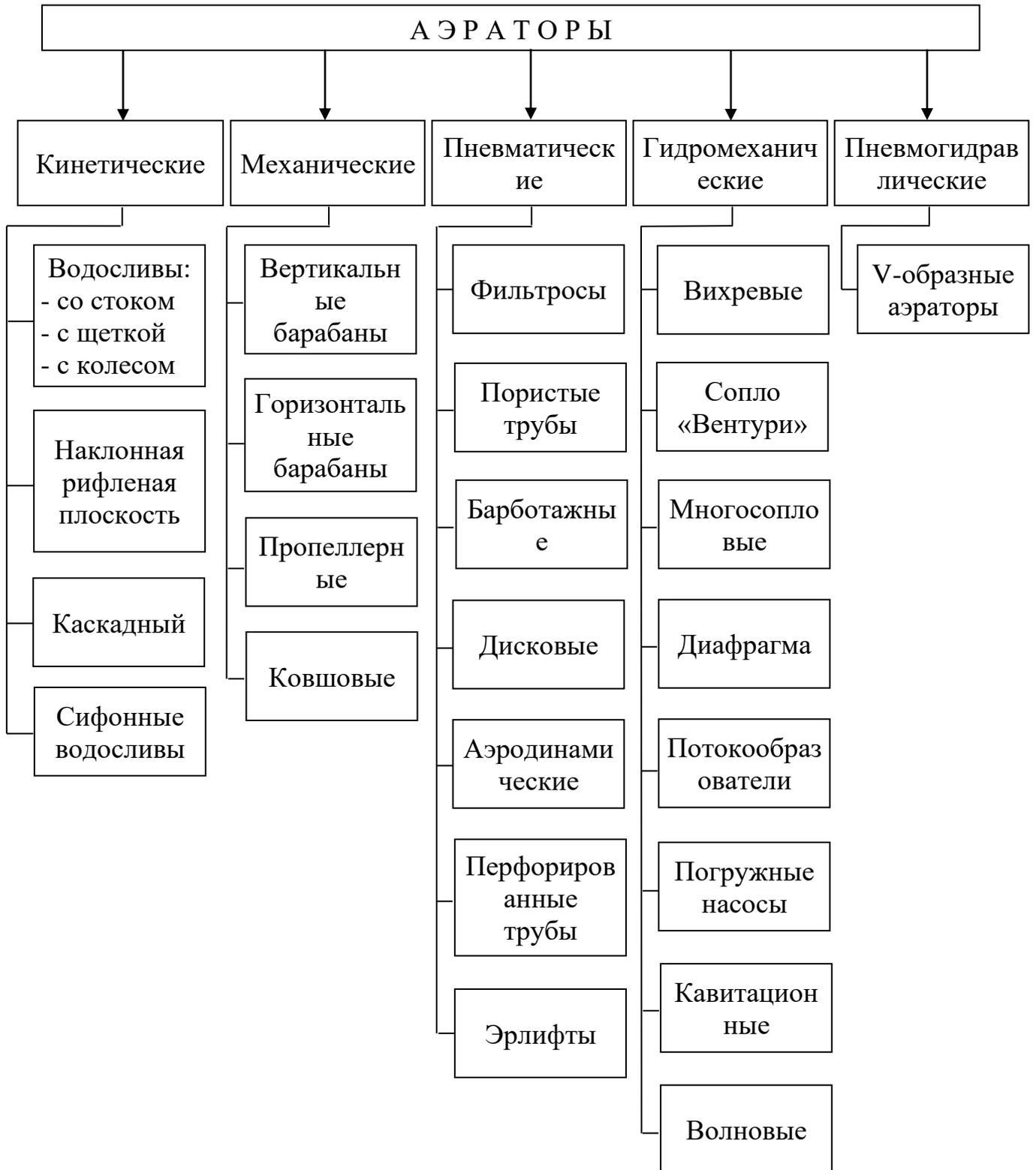


Рисунок 1.7 – Классификация аэраторов (по И.Х. Алиев и др. [7])

Однако процесс аэрации в значительной степени связан с использованием, в первую очередь, электрической энергии, так в работе [85] проведено сравнение

массообменных характеристик различных типов аэраторов, по интегрированному критерию, включающему и энергозатраты и ранжирование, которое показывает, что механические, пневмомеханические, эрлифтные и эжекторные менее эффективные, являясь одновременно энергозатратными.

Оценка эффективности аэраторов, включая конструкции пневматических, основанных на использовании энергии сжатого воздуха, формирующих пузырьки различного диаметра; механических, использующих энергию механического рабочего колеса, мешалки, турбинки и др.; пневмомеханических, в которых энергия подается несколькими способами одновременно; струйных, использующих энергию струй различной природы – гидравлических, водовоздушных, по материалам В.В. Помогаевой [78], приведена в таблице 1.6.

Таким образом, технические решения для осуществления искусственной аэрации воды при эксплуатации в значительной степени зависят от возможностей стабильного электроснабжения работы устройств, а, следовательно, экономически затратные, включая инновационные системы аэрации [8, 9, 29].

Так, например, при оптимизации конструкций аэраторов, и увеличении проектных объемов циркулирующей в воды более чем в три раза по сравнению с альтернативными вариантами, представленной в работе Aytac, A., Kelestemur, G. T., & Tuna, M. C. [97], энергетические затраты составили 0,10 кВт\*ч/м<sup>3</sup> воздуха. При этом следует иметь в виду, что конструкция, предложенная авторами в приведенной работе, имеет весьма ограниченные возможности применения.

Для водного хозяйства Сирии с дефицитом энергоресурсов и системными периодическими отключениями электроэнергии, использование энергозависимых устройств для улучшения качества природных вод представляет особую сложность при их эксплуатации [95, 133].

В этой связи разработка методов и технических средств улучшение качества водных ресурсов поверхностных водоисточников на основе использования возобновляемых источников энергии является актуальной.

Таблица 1.6 – Сравнительная характеристика различных систем аэрации воды [78]

Тип аэрации	Основные виды аэрации	Эффективность аэрации	Достоинства аэратора	Недостатки аэратора	Область применения
Пневматическая	мелко-пузырчатые (1-4 мм)	2,0–3,3 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	относительно эффективно использует кислород и хорошо диспергирует воздуха	трудность монтажа, увеличение сопротивления, засорение пор, трудность регенерации	на крупных объектах, требующих высокого уровня эксплуатации
	средне-пузырчатые (5-10 мм)	1,4–1,8 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	механическая прочность, относительная простота монтажа и демонтажа	требуется строительство воздухоподводящей станции	на небольших объектах, требующих высокого уровня эксплуатации
	крупно-пузырчатые (>10 мм)	до 1,4 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	относительная простота монтажа и демонтажа, дешевые	требуется строительство воздухоподводящей станции и воздухоподводящих коммуникаций	крупные объекты
Механическая	поверхностные (турбинки, мешалки, щетки): горизонтальные вертикальные	1,8–2,0 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	не требует строительства воздухоподводящих станций и воздухоподводящих коммуникаций	необходимость специального оборудования (редукторы, моторредукторы), ограниченная глубина	биологические пруды, бытовые стоки, реки
	глубинные (импеллерные)	1,0–2,0 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	простой в изготовлении и эксплуатации	низкая эксплуатационная надежность	биологические пруды, бытовые стоки, реки
Пневмомеханическая		1,8–2,1 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	обеспечивает интенсивное перемешивание и большую поверхность контакта жидкой и газовой фаз	трудность монтажа и эксплуатации	крупные объекты, содержащие загрязненную воду в высоких концентрациях и требующие высокой степени окисления
Струйная	эжекторные	1,0 кгО <sub>2</sub> /кВт.ч	обеспечивает интенсивное перемешивание и большую поверхность контакта жидкой и газовой фаз	высокое энергопотребление	небольшие биологические пруды
	перепады воды	1,7–3,0 мг О <sub>2</sub> /л Н <sub>2</sub> О	насыщение воды кислородом с использованием рельефа местности	короткое время контакта между воздухом и водой	речные, сточные воды и ПЛОТИНЫ

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Анализ многочисленных исследований, патентных материалов и литературных источников, связанных с оценкой качества воды, показывает, что растворенный кислород является одним из наиболее важных показателей, влияющий на экологию поверхностных водоёмов и дающий истинное представление об их состоянии. Играя важную роль в стимулировании развития полезных бактерий и разложению органических веществ, растворенный кислород, тем самым, увеличивает способность природного источника воды к самоочищению.

2. Сектор водных ресурсов Сирии характеризуется дефицитом воды, который возрастает в связи с изменением климата, постоянным ростом численности населения, низким уровнем управления водными ресурсами и прекращением работы многих водоочистных сооружений из-за разрушений объектов энергообеспечения, в условиях экономического кризиса в стране, возникшего в результате войны.

Анализ водно-физических и гидрохимических свойств водохранилищ 16 Тишрин, Аль-Музайна и Музейриб, расположенных в западных провинциях Сирии позволяет сделать вывод о возможности использования данных объектов для внедрения инновационных технологий улучшения качества воды.

3. Проведя сравнительный анализ современных методов и моделей, используемых для улучшения качества природной воды в прудах и естественных водоемах, установлено, что аэрация является одним из наиболее эффективных способов насыщения воды кислородом и тем самым повышения способности источник воды к самоочищению.

4. В настоящее время на практике, в первую очередь в условиях биологических прудов, наибольшее распространение получили технические решения аэраторов, основанные на механическом подходе, включая устройства для разбрызгивания воды (фонтаны); нагнетания воздуха по трубам и выпуск через отверстия в воду; перемешивания верхних слоев воды и др., однако это

дорогостоящие и энергоемкие решения.

На основании вышеизложенного целью настоящего научного исследования является разработка, исследование и обоснование параметров технических решений для улучшения качества воды придонных слоёв водоёмов на основе возобновляемых источников энергии в условиях Сирии.

Это соответствует пункту 11. «Разработка и исследование способов и систем обводнения территорий, водоснабжения, водоотведения, очистки и использования сточных вод населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных предприятий в целях сохранения водных ресурсов и повышения эффективности природопользования», пункту 12. «Исследование, разработка и мониторинг показателей качества источников воды для орошения и обводнения, разработка и совершенствование способов улучшения состояния водоисточников, водоприемников сбросных и дренажных вод, их утилизации, а также восполнения и повышения качества поверхностных и подземных вод» и пункту 21. «Разработка и исследование эффективности мероприятий и сооружений по управлению водными ресурсами и водохозяйственными системами мелиоративного назначения, а также водоохраных мероприятий и сооружений» паспорта научной специальности 4.1.5 Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

### 2.1. Принципы создания систем аэрации естественных водоёмов с использованием возобновляемых источников энергии

Возобновляемыми источниками энергии принято считать источники, которые образуются на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, в первую очередь энергии Солнца, к которым относят [18]:

- собственно энергию солнечного излучения;
- гидравлическую энергию рек;
- энергию ветра;
- энергию, заключенную в биомассе;
- энергию океана, которая проявляется в виде волн, а также термогалинных градиентов (градиентов температуры и солености морской воды).

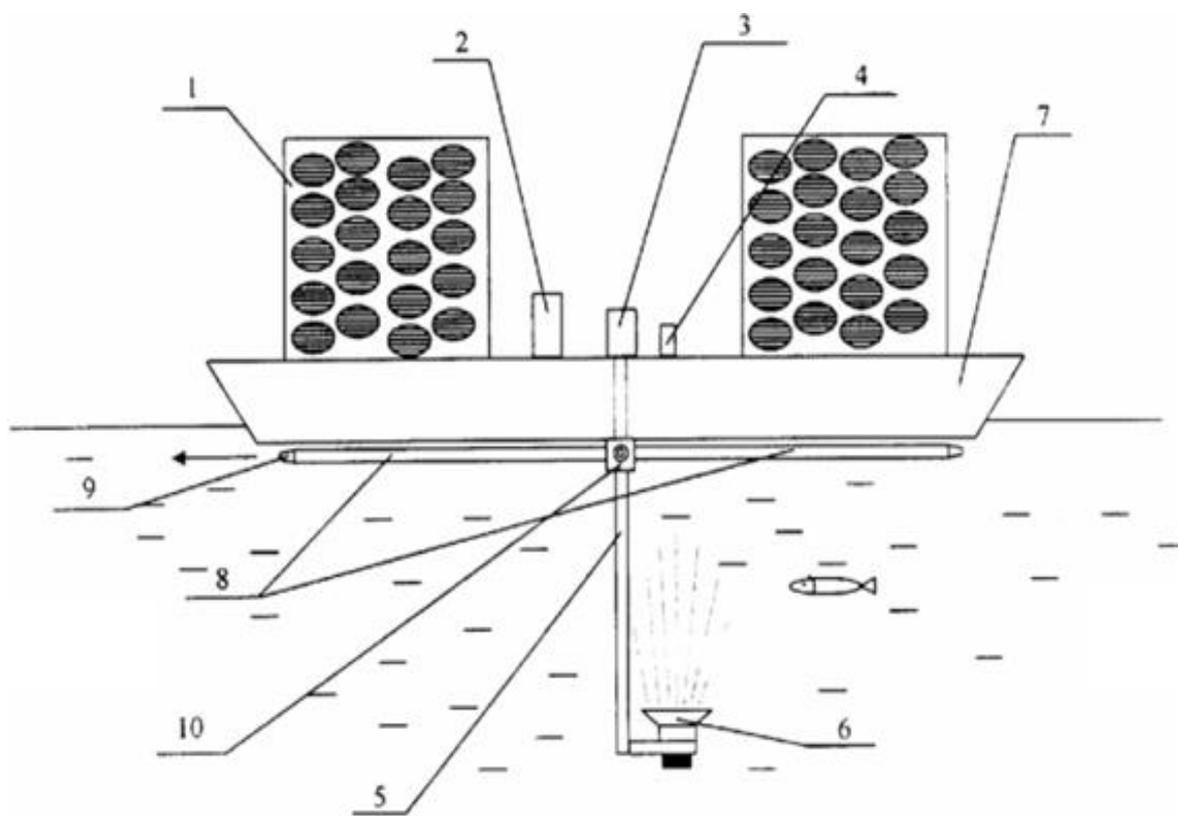
В настоящее время основными направлениями использования собственно солнечного излучения являются технологии получения тепловой энергии в водонагревательных установках и (или) электрической энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей, объединенных в фотоэлектрические модули. В отрасли ветровой энергетики, кинетическая энергия воздушных масс в атмосфере преобразуется в электрическую, механическую и другие формы энергии [18].

Экономический анализ результатов использования возобновляемых источников энергии за последние десятилетия показал, что устойчивый рост их доли в мировой энергетике и прежде всего источников солнечного происхождения (прямой солнечной радиации и ветра), составляющих основную часть в структуре альтернативной энергетики, а также показатели себестоимости с учетом природоохранных затрат, перспективность этого направления

исследований [47].

Тенденции использования возобновляемых источников энергии для аэрации естественных источников и улучшения качества воды выражаются в проведении научных исследований [14–16, 18, 45, 47, 81], разработке и патентованию соответствующих технических решений [5, 56, 62, 64–66, 69, 70, 84].

В качестве примера рассмотрена конструкция солнечной аэрационной системы, в соответствии с патентом на полезную модель RU № 52848 [69], схема конструкции приведена на рисунке 2.1.



- 1 – фотоэлектрический преобразователь; 2 – аккумулятор; 3 – компрессор;  
 4 – блок управления; 5 – основной воздуховод; 6 – аэратор; 7 – плавучая  
 платформа; 8 – дополнительные воздуховоды; 9 – сопла;  
 10 – электропневматический распределитель

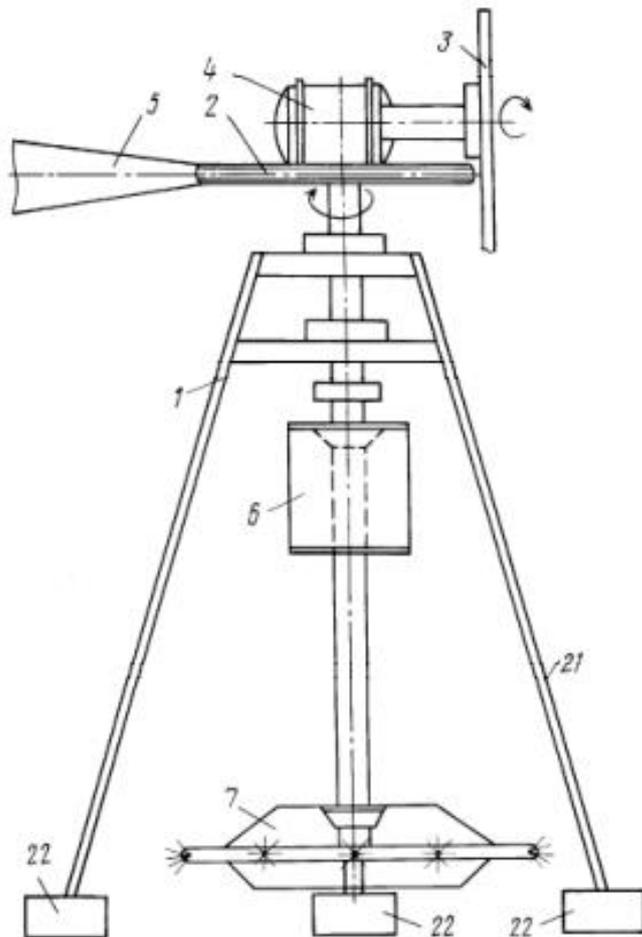
Рисунок 2.1 – Солнечная аэрационная система  
 (патент на полезную модель RU № 52848):

Принцип работы солнечной аэрационной системы основан на фотоэлектрическом преобразовании энергии солнечного излучения в электрическую, накоплением её в аккумуляторе и питании компрессора,

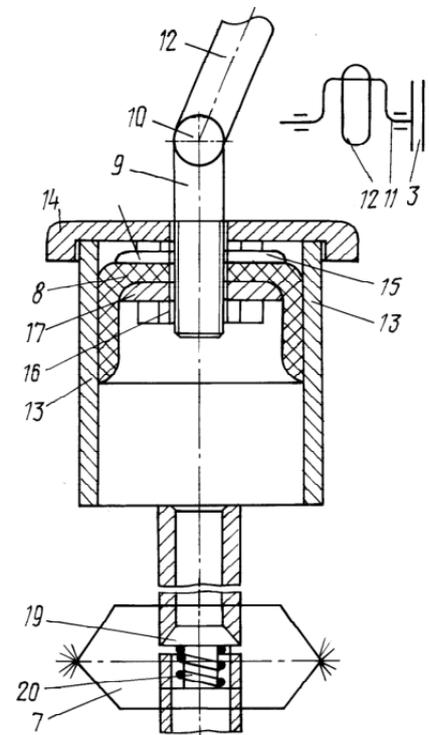
подающего воздух по основному воздуховоду через аэратор для насыщения воды кислородом и управления перемещением системы с помощью дополнительных воздуховодов.

Второй пример, ветровое устройство для нагнетания воздуха в водное пространство (патент на изобретение RU 2096953) [56], представленное на рисунке 2.2.

а)



б)



а – общий вид; б – поршневое устройство;

- 1 – мачта; 2 – поворотная опора; 3 – ветровое колесо; 4 – поршневое средство;  
 5 – флюгер; 6 – воздуховод; 7 – распылитель; 8 – манжета; 9 – шток; 10 – шарнир;  
 11 – кривошип; 12 – шатун; 13 – цилиндр; 14 – крышка; 15 – гайка крепления;  
 16 – гайка зажима манжеты; 17 и 18 – опорные шайбы; 19 – обратный клапан;  
 20 – пружина; 21 – тренога; 22 – фундаментные плиты

Рисунок 2.2 – Ветровое устройство для нагнетания воздуха в водное пространство (патент на изобретение RU 2096953):

Устройство устанавливается и удерживается на дне водоема с помощью треног и фундаментных плит, ветровое колесо, вращаясь под воздействием воздушного потока, с помощью кривошипно-шатунного механизма передает вращательный момент от ветрового колеса, на поступательное движение поршня, с помощью которого воздух нагнетается в воздуховод и через распылители поступает в водное пространство водоема.

Таким образом, в основе обеспечения работы рассмотренных устройств для улучшения качества воды естественных водоёмов в первой конструкции (см. рисунок 2.1) используется технология получения электрической энергии для компрессора с помощью фотоэлектрических преобразователей, во второй (см. рисунок 2.2) кинетическая энергия ветра преобразуется в механическую энергию поршневой системы для нагнетания воздуха в водоем.

Учитывая климатические и технико-экономические особенности условия, а также возможности использования водных ресурсов Сирии, в задачу разработки конструкции устройства для улучшения качества воды естественных водоёмов, входило поиск новых подходов для преобразования энергии возобновляемых источников, в частности солнечной радиации и воздушных потоков.

## 2.2. Разработка конструкций для аэрации естественных водоёмов на основе использования возобновляемых источников энергии

Отечественный и зарубежный опыт последних десятилетий показывает, возобновляемая энергетика как отрасль знания, научное и техническое направление представляет собою комплексную область науки, объединяющую прикладные и фундаментальные, технические, экономические и др. исследования [17].

Наиболее значимыми видами использования возобновляемых источников энергии в условиях естественных водоёмов являются солнечная энергия и энергия ветра.

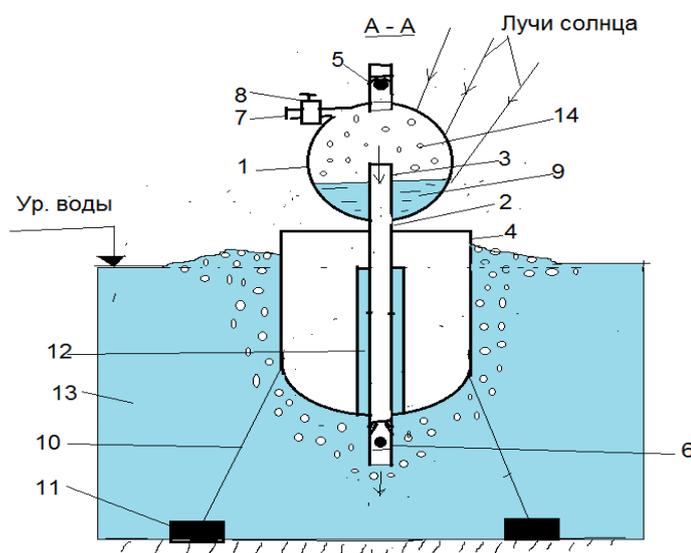
Ниже рассмотрены конструкции устройств для улучшения качества воды

естественных водоёмов, разработанные нами и защищенные патентами на полезную модель [71, 72, 76,]. Технические решения основаны на использовании солнечной энергии и энергии ветра, точнее, энергии волн, которые формируются на поверхности водоема под воздействием ветра.

### 2.2.1. Конструкции устройств для улучшения качества поверхностных водоисточников на основе использования солнечной энергии

Принцип действия разработанных и представленных в данной главе устройств, для улучшения качества поверхностных водоисточников при использовании солнечной радиации, основан на использовании одного из основных газовых законов, описывающего соотношение давления и температуры при постоянном объёме [82].

Устройство для аэрации придонных слоев воды в соответствии с патентом на полезную модель RU № 212935 [71] представлено на рисунке 2.3.



- 1 – ёмкость-накопитель; 2 – труба-воздуховод; 3 – консоль; 4 – поплавок корпуса;  
 5 – впускной клапан; 6 – выпускной клапан; 7 – патрубок для заливки воды; 8 – кран;  
 9 – технологическая вода; 10 – якорный трос; 11 – балластный груз;  
 12 – ниша в корпусе; 13 – водоём; 14 – водяной пар

Рисунок 2.3 – Устройство для аэрации придонных слоев воды (патент на полезную модель RU № 212935):

Конструкция включает ёмкость-накопитель, которая выполнена в виде сферы с черной внешней поверхностью и закреплена на корпусе устройства при помощи трубы-воздуховода, верхний конец которого в виде консоли размещён внутри сферы, а нижний конец трубы-воздуховода крепится к поплавку корпуса и размещен под днищем поплавка. В верхней части ёмкости-накопителя размещён впускной клапан, а выпускной клапан размещён в трубе-воздуховоде в зоне дна корпуса в донных слоях водоема. Ёмкость-накопитель оборудована патрубком с краном для заливки технологической воды в ёмкость-накопитель. Корпус устройства при помощи якорных тросов закреплён к балластным грузам, размещенным на дне водоема. В центре корпуса выполнена ниша для размещения трубы-воздуховода, контактирующей с водой водоёма.

Устройства для аэрации придонных слоев воды размещают на поверхности водоема и, с помощью тросов и балластных грузов, выставляются в зависимости от уровня воды в водоеме, с возможностью минимального перемещения при волнении. В дневной период лучи солнца сильно нагревают чёрную поверхность ёмкости-накопителя, в которой технологическая вода, предварительно залитая в полость через патрубок, испаряется, а водяной пар в полости ёмкости-накопителя повышает давление (кран на патрубке для заливки технологической воды закрыт). Впускной клапан закрывается, выпускной клапан открывается, а водяной пар через отверстие на консоли поступает в трубу-воздуховод и далее в водоём под днищем корпуса. Труба-воздуховод проходит через нишу в корпусе, которая сообщается с холодной водой водоёма, при этом в трубе-воздуховоде происходит процесс конденсации – капли воды в трубе-воздуховоде вместе с пузырьками воздуха через открытый выпускной клапан поступают в водоём, обогащают кислородом донные слои водоёма.

В ночной период ёмкость-накопитель охлаждается, давление в полости ёмкости-накопителя падает ниже атмосферного, впускной клапан открывается, а выпускной клапан под напором столба воды в водоёме закрывается. Ёмкость-накопитель заполняется атмосферным воздухом и в дневной период процесс поступления воздуха в водоём автоматически повторится, по мере испарения

технологической воды в ёмкости-накопителе, объем пополняется через патрубок приоткрытом кране.

Сложность использования данной конструкции связана с необходимостью систематического пополнения полости ёмкости-накопителя технологической водой, при этом объем и периодичность «зарядки» устройства являются основными расчетными технологическими параметрами конструкции.

Сравнивая возможности использования рассмотренных устройств для улучшения качества воды поверхностных водоисточников на основе использования солнечной радиации, следует отметить, что перспективным по разнообразию технических решений и возможностям применения на водных объектах, а также условиям эксплуатации является конструкция на основе патента на полезную модель RU № 214200 [72].

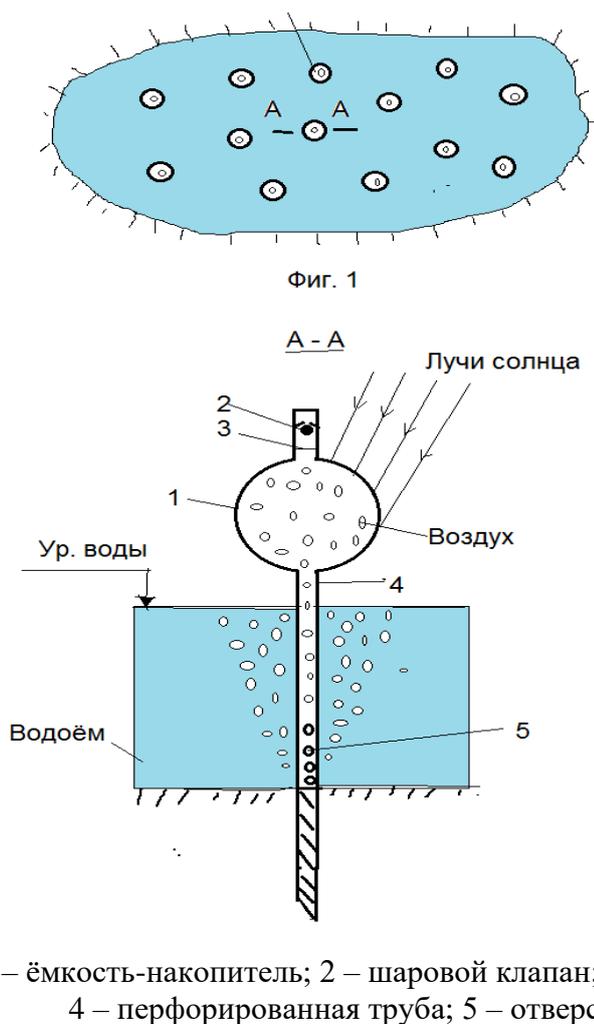


Рисунок 2.4 – Устройство для аэрации придонных слоев воды (патент на полезную модель RU № 214200):

В верхней части ёмкости-накопителя закреплен впускной клапан с защитной сеткой, а смонтированный снизу шара патрубков выполнен в виде перфорированной трубы с отверстиями, конец которой закреплен в грунте водоёма.

Работает устройство для аэрации придонных слоев воды следующим образом. В дневной период лучи солнца сильно нагревают чёрную поверхность ёмкости-накопителя, воздух расширяется и создаётся повышенное давление внутри ёмкости-накопителя и впускной клапан перекрывает доступ атмосферного воздуха в полость ёмкости-накопителя. Повышение давления воздуха в ёмкости-накопителе приводит к его поступлению в перфорированную трубу и через отверстия выходит в воду водоёма, обогащая её кислородом. В ночной период воздух в ёмкости-накопителе охлаждается, давление в полости снижается ниже атмосферного, при котором открывается впускной клапан и атмосферный воздух заполняет полость ёмкости-накопителя. В дневной период, при повышении температуры в ёмкости-накопителе, поступление воздуха из перфорированной трубы в придонные слои водоёма автоматически повторяется.

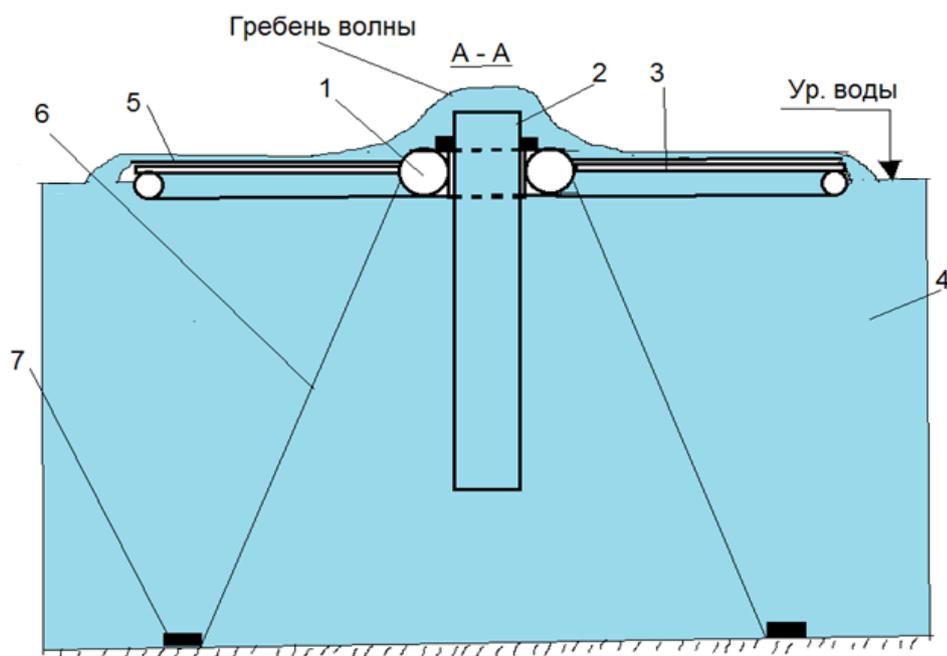
Сравнивая возможности использования рассмотренных устройств для улучшения качества воды поверхностных водоисточников на основе использования солнечной радиации, следует отметить, что перспективным по возможностям применения на водных объектах, а также условиям эксплуатации является конструкция на основе патента на полезную модель RU № 214200.

### 2.2.2. Устройства на основе использования энергии волн для улучшения качества придонных слоев воды

Представленное в данном параграфе устройство для улучшения качества придонных слоев воды, основано на использовании энергии волн, действующее по принципу увеличения вертикального водообмена для подачи кислорода воздуха в нижние горизонты водоема, дополнительно используя эффект экранирования водной поверхности с помощью светонепроницаемой

поверхности, для уменьшения интенсивности поступления солнечных лучей вглубь водоёма и замедления процессов развития водной растительности.

Именно на таком принципе основана работа устройства для очистки водоемов от водорослей, патент на полезную модель RU № 210274 [76], схема которого представлена на рисунке 2.5.



1 – торообразный поплавок; 2 – труба для забора воды, 3 – кольцеобразная светопоглощающая плоскость; 4 – придонная зона водоёма; 5 – плёнка чёрного цвета; 6 – трос; 7 – якорь

Рисунок 2.5 – Устройство для очистки водоемов от водорослей (патент на полезную модель RU № 210274):

В предложенном устройстве, включающем плавсредство с приспособлением для вертикального перемещения воды, выполненном в виде торообразного поплавка, внешняя периферийная поверхность которого устроена в виде кольцеобразной светопоглощающей плоскости, например покрытой пленкой.

Приспособление для перемещения воды представляет собой вертикальный отрезок трубы, размещённый в центре торообразного поплавка, так чтобы верхний конец трубы располагался над поверхностью круговой плоскости, а другой, нижний, конец отрезка трубы находился в придонной зоне водоёма.

Работа устройства для защиты водоемов от водорослей осуществляется

следующим образом. При волнении поверхности воды в водоёме гребень волны давит снизу на поверхность светопоглощающей плоскости с плёнкой и под давлением холодная вода из придонного слоя водоёма проходит по отрезку трубы в центре тороидальной поплавок и, омывая тёплую верхнюю поверхность плёнки, поступает в водоём. Таким образом, вода, поступающая по отрезку вертикальной трубы из придонной зоны водоема, обогащается кислородом и охлаждает пленку. В процессе колебания под воздействием волн по отрезку трубы происходит возвратно-поступательное движение воды, способствующее дополнительному вертикальному водообмену и обогащению придонной зоны водоема кислородом.

Вся конструкция с помощью тороидальной поплавок удерживается на свободной поверхности водоема с использованием тросов с якорями и устанавливается на расчетном статическом уровне воды в водоеме. Черная пленка светопоглощающей плоскости поглощает лучи солнца, не пропускает их вглубь водоёма, тем самым снижается интенсивность процесса фотосинтеза, рост водорослей замедляется.

Следует отметить, что данная конструкция предназначена для использования на водоёмах с незначительными колебаниями уровня свободной поверхности, которое характерно для условий рыбоводных прудов.

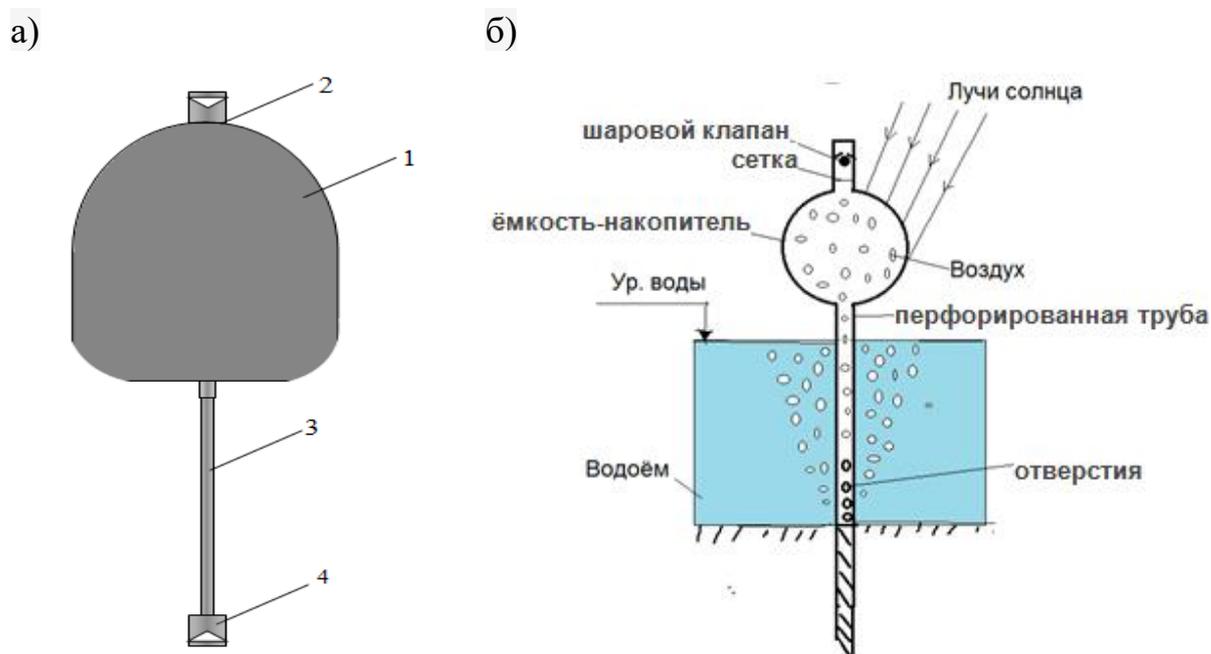
Подводя итоги поиска технических решений для улучшения качества придонных слоев воды на основе использования возобновляемых источников энергии в условиях Сирии, необходимо заключить, что в большей степени климатическим параметров региона, просты и надежности в эксплуатации отвечает конструкция устройства по патенту на полезную модель RU № 214200, которая и принята для дальнейших исследований.

### 2.3. Разработка экспериментального образца аэратора для поверхностных водоёмов, на основе использования солнечной энергии

В настоящее время выбор типа и схемы размещения аэраторов в водоеме

осуществляется, как правило, эмпирически для конкретного водоема с учётом назначения, в зависимости от нормативов содержания кислорода в воде, например, плотности зарыбления для рыбоводных прудов, а также с учётом температуры и глубины воды, наличия водных и надводных (затеняющих) растений, биохимического состава грунта ложа водоема, топографии дна и др. При проектировании аэраторов следует учитывать, что существующие конструкции подразделяются: по рабочему давлению на низконапорные – до 10 кПа, средненапорные – от 10 до 50 кПа и высоконапорные – более 50 кПа; по размеру выходящих пузырьков на: мелкопузырчатые диаметр пузырьков 1–4 мм, среднепузырчатые – от 5 до 10 мм и крупнопузырчатые более 10 мм. При этом, чем меньше диаметр пузырька и больше их количество, тем больше поверхность соприкосновения воздуха с водой и тем больше растворимость кислорода [8, 44].

С учетом особенностей использования конструкции устройства для аэрации придонных слоев воды (патент на полезную модель RU № 214200) был разработан экспериментальный образец (без опорной части), представленный на рисунке 2.6 в сравнении с аналогом.



а – экспериментальный образец (опорный элемент не показан);

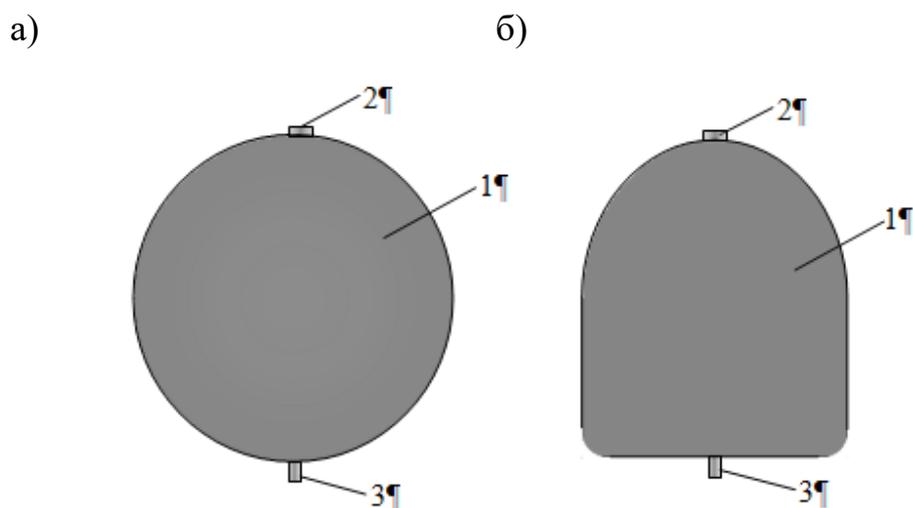
б – патент на полезную модель RU № 214200;

1 – ёмкость-накопитель; 2 – впускной клапан; 3 – воздуховод; 4 – выпускной клапан

Рисунок 2.6 – Конструкция экспериментального образца устройства для аэрации придонных слоев воды:

Основной подход в процессе разработки экспериментального образца заключался в использовании существующих деталей, материалов и элементов, сохраняя принцип действия устройства, заложенный в патенте на полезную модель. В этой связи сложности, которые при разработке конструкции пришлось преодолевать это подбор конструктивных элементов серийного производства с параметрами, отвечающими технологическим условиям использования устройства. Остановимся на особенностях конструирования этих элементов.

Ёмкость-накопитель. Основным требованием к этому элементу является необходимость накопления солнечной энергии, что обеспечивается максимальным контактом поверхности с солнечными лучами в течение всего светового дня. чему в большей степени отвечают предложенные в данной конструкции форме сфера или закругленный цилиндр (рисунок 2.7).



а – сферическая; б – цилиндрическая;  
1 – корпус ёмкости-накопителя; 2 – ниппель для впускного клапана;  
3 – штуцер для воздуховода;

Рисунок 2.7 – Варианты формы поверхности ёмкости-накопителя:

В этой связи в экспериментальной конструкции емкость-накопитель принята в форме металлического закругленного цилиндра заводского изготовления, покрашенного в черный цвет (см. рисунок 2.6).

Впускной клапан. В экспериментальном образце для поступления внешнего воздуха в емкость накопитель, вместо шарового клапана с сеткой (см. рисунок

2.6) был установлен впускной клапан. По техническим условиям был принят клапан для топливной системы с основными характеристиками: размер штуцера 8 мм; давление открытия 0,2 бар; диапазон рабочего давления 0,2–6,0 бар; диапазон рабочей температуры от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ ; материал алюминиевый сплав (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Впускной клапан экспериментального образца устройства

В отличие от патента на полезную модель, в экспериментальном образце вместо отверстий для выхода воздуха в придонные слои водоёма (см. рисунок 2.6), применен выпускной клапан, который работает только на выпуск воздуха из ёмкости-накопителя, это позволяет увеличить, объём воздуха в устройстве в целом за счет объема воздуха в воздуховоде. При этом выпускной клапан не является препятствием для выхода конденсата, накапливающегося в ёмкости-накопителе в процессе работы устройства. Конструкция и параметры выпускного клапана приняты, как и для впускного клапана.

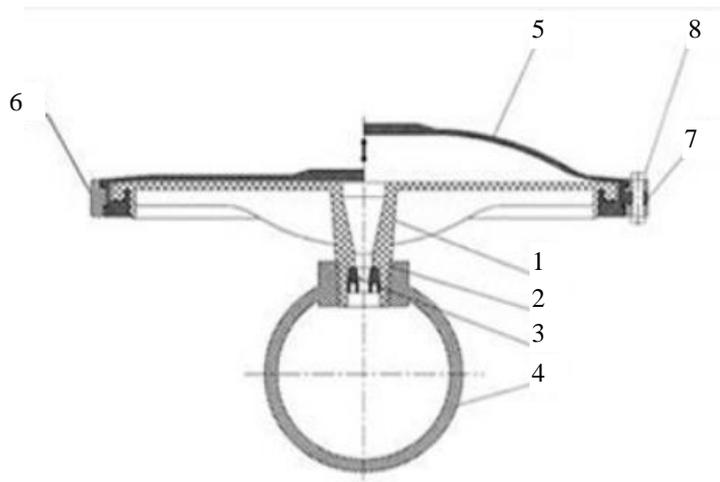
Воздуховод. В зависимости от конструкции опорной части устройства, которая может быть стационарной (свайной) или плавающей (поплавковой) с удержанием на якоре, воздуховод может выполняться совмещенным с опорной частью (сваей), а также в виде трубки на полиэтиленовой или силиконовой основе. Силиконовые трубки, предпочтительнее, они надежно работают в широком диапазоне температур, а благодаря гибкости и высоким физико-химическим свойствам (в том числе армированию) способны выдерживать значительные растягивающие усилия одновременно выполняя функции троса для удерживания плавающей конструкции на плаву. Следует отметить, что опорная часть устройства, выполненная плавающей, позволяет увеличить зону активной аэрации в процессе работы устройства за счет подвижности концевой участка

воздухопровода с выпускным клапаном.

Техническое отступление. В процессе работы аэратора важнейшим элементом, обеспечивающим формирование качественных показателей выпуска воздуха в водоём с максимальным эффектом растворимости кислорода, является рассеиватель воздуха. В настоящей работе данный элемент устройства не рассматривался, и в будущем может стать объектом отдельного исследования. Вместе с тем, отмечая важность этого конструктивного элемента аэратора, считаем необходимым дать некоторую оценку.

Конструкции рассеивателей воздуха многочисленны и достаточно подробно освещены в литературе [36, 55, 57, 58, 70], более того серийно выпускаются, например, система аэрации АКВА-ПЛАСТ (ООО Завод Экополимер, zavod@ecopolymer.com).

Конструктивно корпус рассеивателя с помощью конического патрубка с ниппелем закрепляется на трубе воздухопровода, перфорированная мембрана, имеющая сквозные отверстия, с помощью хомута и специального замка фиксируется на корпусе рассеивателя сверху (рисунок 2.9).



1 – корпус рассеивателя; 2 – конический патрубок; 3 – ниппель; 4 – труба воздухопроводителя; 5 – эластичная мембрана; 6 – полиэтиленовый хомут; 7 – замок хомута; 8 – фиксатор замка

Рисунок 2.9 – Конструкция мембранного рассеивателя аэратора:

Рассеиватель работает следующим образом: воздух из трубы воздухораспределителя через патрубок поступает в пространство под эластичной мембраной, повышение давления воздуха приводит к растягиванию мембраны, раскрытию отверстий перфорации, через которые воздух в виде мелких пузырьков поступает в воду. Прекращение подачи воздуха приводит к возвращению мембраны в исходное положение, закрытию отверстий и поступлению воды в воздухораспределитель аэратора. Как видно в конструкции данного рассеивателя в устройстве выпускного клапана нет необходимости.

#### 2.4. Расчетное обоснование экспериментального образца аэратора для поверхностных водоёмов с использованием солнечной энергии

Теоретическое решение является неотъемлемой частью процесса проектирования конструкции, расчет устройства для аэрации придонных слоев воды основан на рассмотрении классической задачи теплотехники.

В соответствии с принципом работы аэратора, основанного на использовании солнечной энергии, задача расчета заключается в определении основных параметров устройства необходимых для обеспечения при его работе нормативных показателей качества воды с учетом солнечной инсоляции в климатических и гидрологических условиях поверхностного водоисточника. В качестве основного элемента, обеспечивающего работоспособность устройства, являются ёмкость-накопитель.

В качестве основного уравнения, устанавливающего связь между объёмом, давлением и температурой воздуха в ёмкости-накопителе является уравнение Клапейрона-Менделеева [82]

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (2.1)$$

где:  $P$  – давление газа, Па;

$V$  – объём газа, м<sup>3</sup>;

$n$  – количество вещества в молях;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31$  Дж/ (моль К);

$T$  – температура газа,  $K$ .

При  $n = \frac{m}{M}$ , уравнение (2.1) принимает вид

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T. \quad (2.2)$$

где:  $m$  – масса газа, кг;

$M$  – молярная масса,  $M = 0,029$  кг/моль;

Запишем уравнение (2.2) при температуре воздуха  $T_1$  внутри ёмкости-накопителя в момент выхода первого пузырька воздуха в воду:

$$P_1 \cdot V_1 = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T_1, \quad (2.3)$$

из которого получаем формулу для определения массы воздуха внутри ёмкости-накопителя ( $m_1$ )

$$m_1 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot M}{R \cdot T_1} \quad (2.4)$$

Аналогичным образом, используя уравнение (2.2) получим зависимость для определения массы воздуха внутри ёмкости-накопителя при температуре воздуха  $T_2$  в момент выхода последнего пузырька в воду, то есть массу, оставшуюся внутри ёмкости-накопителя ( $m_2$ )

$$m_2 = \frac{P_2 \cdot V_2 \cdot M}{R \cdot T_2}, \quad (2.5)$$

В условиях рассматриваемой конструкции принимаются следующие допущения:

– объем аэратора в процессе работы устройства остается постоянным, изменением объема в результате температурного расширения материала корпуса пренебрегаем,  $V_1 = V_2 = V = \text{const}$ ;

– в процессе работы аэратора установлено, что давление внутри ёмкости-накопителя при выходе первого и последнего пузырька практически не меняется, т.е. изменением давления внутри конструкции в процессе работы пренебрегаем,  $P_1 = P_2 = \text{const}$ .

Тогда масса воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя и поступающего в водоем, т.е. на аэрацию  $m_{aэ.б}$  будет равна разнице массы воздуха внутри ёмкости-накопителя в начале и в конце выхода воздуха

$$m_{\text{аэ.в}} = m_1 - m_2 = \frac{PVM}{RT_1} - \frac{PVM}{RT_2} = \frac{PVM}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (2.6)$$

В уравнении (2,6) следует раскрыть величину давления в ёмкости-накопителе, создаваемого солнечным излучением в процессе работы аэратора.

В соответствии с расчетной схемой, приведенной на рисунке 2.10, давление внутри ёмкости-накопителя для начала выхода воздуха, зависит от глубины погружения выходного отверстия (выпускного клапана), и потерь напора при движении воздуха в трубе воздуховода и выходе в выпускном клапане.

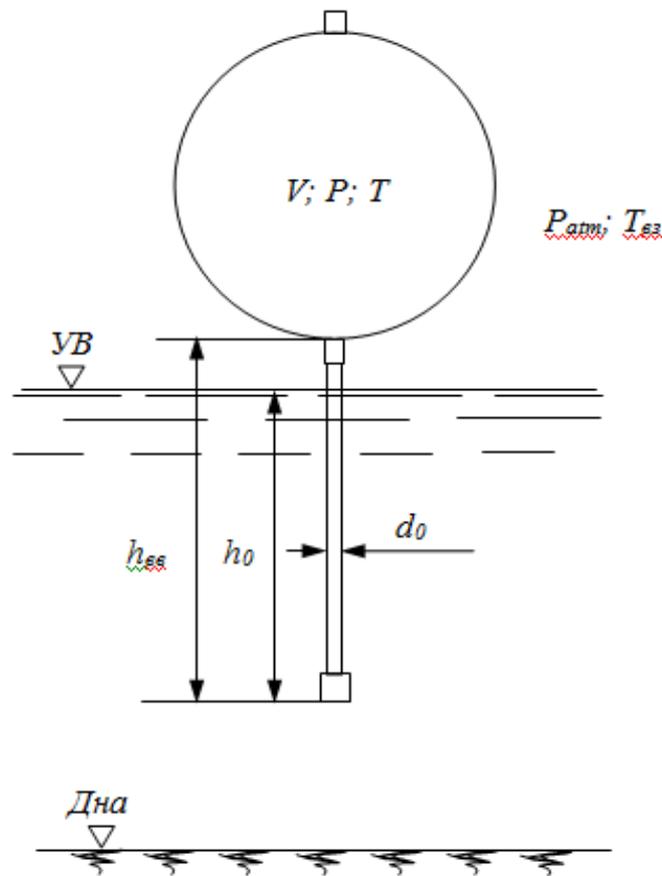


Рисунок 2.10 – Расчетная схема аэратора (опорный элемент не показан)

Формула для определения давления воздуха внутри ёмкости-накопителя на момент выхода первого пузырька будет иметь вид

$$P = P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w \text{ тр.}} + h_{w \text{ вк}}, \quad (2.7)$$

где  $P_{\text{атм}}$  – атмосферное давление, Па;

$\rho_0$  – это плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$h_0$  – глубина погружения выходного отверстия воздуховода под уровень воды в водоеме, м;

$h_{w\text{ mp.}}$  – потери напора на входе и при движении воздуха по длине трубы воздуховода, учитывая низкую скорость воздуха, малую длину трубы  $h_{\text{вв}}$  и диаметр  $d_0$  воздуховода, потерями напора в воздуховоде пренебрегаем ( $h_{w\text{ mp.}} = 0$ );

$h_{w\text{ вк}}$  – потери напора на выходе из выпускного клапана (рассеивателя) аэратора, зависят от интенсивности подачи и расхода воздуха, для рассматриваемой конструкции могут быть приняты в пределах 0,3 – 0,5 кПа.

С учетом изложенного, зависимость (2.7) принимает вид

$$P = P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w\text{ вк}} \quad (2.8)$$

После преобразования (2.6) с учетом (2.8) масса воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя, определится по формуле

$$\Delta m = \frac{(P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w\text{ вк}})VM}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right). \quad (2.9)$$

Как уже отмечалось, насыщение воды кислородом воздуха необходимо при наличии дефицита кислорода в водоёме, т.е. разницы между нормативной  $C_{\text{нор}}^{O_2}$  концентрацией кислорода, соответствующей условиям использования объекта, и текущей концентрацией кислорода  $C_{\text{т}}^{O_2}$ , [12, 25], т.е. в процессе аэрации обеспечить подачу требуемого количества, масса которого  $m_{\text{аэ.в}}$  будет равна

$$m_{\text{аэ.в}} = \frac{V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{O_2} - C_{\text{т}}^{O_2})}{m_{O_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (2.10)$$

где  $V_{\text{вод}}$  – объём водоёма, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{нор}}^{O_2}$  – нормативное содержание кислорода в воде водного объекта, для летнего периода работы исследуемого устройства  $C_{\text{нор}}^{O_2} = 6 - 8$  мг/л;

$C_{\text{т}}^{O_2}$  – текущая концентрация кислорода в воде водного объекта, не может быть менее 2,0 – 2,5 мг/л;

$m_{O_2}$  – масса кислорода в 1 м<sup>3</sup> воздуха является величиной постоянной,

в воздухе содержится 21 % кислорода или в 1 м<sup>3</sup> воздуха 0,21 м<sup>3</sup> при плотности  $\rho_{O_2} = 1,43 \text{ кг/м}^3$ ,  $m_{O_2} = 0,21 \cdot 1,43 = 0,3 \text{ кг}$  в 1,0 м<sup>3</sup>;

$k_{эф}$  – коэффициент эффективности переноса кислорода в воду зависит от типа и производительности аэратора составляет 20 – 60%, в среднем принимается 40% или 0,4;

$\rho_B$  – плотность воздуха,  $\rho_B = 1,22 \text{ кг/м}^3$ .

Таким образом, количество воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя  $\Delta t$  должно соответствовать количеству воздуха требуемого для устранения дефицита кислорода в водоёме  $m_{аэ.в}$ , приравняв правые части уравнений (2.9) и (2.10) получим

$$\frac{(P_{атм} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{wBK})VM}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) = \frac{V_{вод} \cdot (C_{нор}^{O_2} - C_T^{O_2})}{m_{O_2} \cdot k_{эф}} \cdot \rho_B, \quad (2.11)$$

из которого объем воздуха в ёмкости-накопителе рассматриваемой конструкции аэратора будет равен

$$V = \frac{R \cdot V_{вод} \cdot (C_{нор}^{O_2} - C_T^{O_2}) \cdot \rho_B}{(P_{атм} + \rho_0 g h_0 + h_{wBK}) \cdot M \cdot m_{O_2} \cdot k_{эф}} \cdot \left( \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right). \quad (2.12)$$

Полагая в уравнении (2.12)  $V$ , объем ёмкости-накопителя конструкции равным  $V_{аэр}$  и приняв объем водоёма  $V_{вод} = 1,0 \text{ м}^3$ , а также подставив значения постоянных:  $R = 8,31 \text{ Дж/(моль К)}$ ,  $M = 0,029 \text{ кг/моль}$  и  $m_{O_2} = 0,3 \text{ кг}$  в 1,0 м<sup>3</sup>, получим зависимость для  $V_{аэр}$  при аэрации 1 м<sup>3</sup> воды водоёма

$$V_{аэр} = 955,17 \cdot \frac{(C_{нор}^{O_2} - C_T^{O_2}) \cdot \rho_B}{(P_{атм} + \rho_0 g h_0 + h_{wBK}) \cdot k_{эф}} \cdot \left( \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \quad (2.13)$$

Очевидно, что под воздействием солнечных лучей из ёмкости-накопителя вытесняется определенная доля объема воздуха, которая устанавливается в последующих исследованиях и оценивается в качестве коэффициента полезного действия конструкции. Это позволит выполнять расчет и проектирование устройств для аэрации придонных слоев воды в соответствии с назначением водного объекта.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Современные принципы создания систем аэрации естественных водоёмов с использованием возобновляемых источников энергии базируются, в основном, на традиционных технологиях преобразования солнечной энергии в электрическую, с помощью фотоэлектрических преобразователей или кинетической энергии ветра в механическую, с последующей подачей на силовые установки нагнетания воздуха в распределительную сеть аэраторов.

2. Разработаны и защищены патентами на полезную модель устройства для аэрации придонных слоев воды на основе использования солнечной радиации (RU № 212935; RU № 214200) и воздействия волн в акватории водного объекта (RU № 210274).

3. Учитывая условия и особенности обеспечения нормативов содержания кислорода в воде, на основе патента на полезную модель RU № 214200 разработан экспериментальный образец аэратора для поверхностных водоёмов, основанный на использовании солнечной энергии. Даны особенности конструирования основных элементов устройства, требующих оптимизации в процессе экспериментальных исследований.

4. По результатам теоретических исследований, используя уравнение состояния для термодинамической системы ёмкости-накопителя с учетом гидродинамических условий работы устройства, получена зависимость (2.13) для определения основного параметра конструкции – объёма ёмкости-накопителя, необходимого для устранения дефицита кислорода в воде водоёма, что позволит выполнять расчет и проектирование устройств для аэрации придонных слоев воды в соответствии с назначением водного объекта.

## ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ

### 3.1. Состав, цель и задачи лабораторных исследований

Учитывая особенности исследуемой конструкции [72], отсутствие аналогов и возможных условий использования, в качестве метода научных исследований устройства для аэрации придонных слоев воды принят метод физического моделирования, который включал:

- лабораторные исследования в естественных условиях, соответствующих возможному региону использования устройства в Сирии;
- эксперименты в искусственно созданных условиях в лаборатории, позволяющие управлять изменением параметров среды.

Целью лабораторных исследований являлось установление основных закономерностей связи параметров внешней, климатической среды и технических характеристик устройства.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- изготовить экспериментальную установку, разработать методика и подготовить инструментарий для проведения исследований в условиях Сирии;
- провести исследования, обработать результаты и дать оценку возможностей экспериментальной установки для последующих работ;
- разработать проект и изготовить термокамеру, подготовить опытные образцы устройств различных типоразмеров, а также тестированные измерительные приборы и оборудование;
- провести исследования экспериментального образца, обработать, оценить результат и сопоставление с данными аналитических расчетов.

Исследования включали работы в условиях Сирии и лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Результаты исследований, в том числе по улучшению качества воды и сохранения водных источников в условиях Сирии представлены в наших работах [30–34, 50].

### 3.2. Лабораторные исследования устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях солнечной радиации Сирии

Рассматривая объект исследований с учетом возможностей использования устройства для аэрации придонных слоев воды [72] в климатических условиях Сирии, следует учитывать природные особенности региона, которые характеризуются теплым, сухим и ясным летом, прохладной, влажной, ветреной и часто облачной зимой.

Основной параметр для работы исследуемого устройства температура, характеризуется следующими показателями: среднегодовая температура на прибрежной равнине составляет  $18,1^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура августа (самого жаркого месяца) –  $29,9^{\circ}\text{C}$  при абсолютном максимуме температур  $40,1\text{--}42,0^{\circ}\text{C}$  [118]. Солнечная радиация постепенно увеличивается, начиная с начала февраля, достигая своего максимума в августе, но повышенные температуры продолжают еще и в сентябре, что связано с морскими особенностями исследуемого района. Скорость и направление ветра, при среднегодовом колебании  $3,6\text{--}3,8$  м/с, и относительная влажность воздуха ( $73\text{--}67\%$ ), находятся в пределах климатических норм [106].

Как уже отмечалось, проблемы водного хозяйства Сирии осложняются наличием значительного дефицита топливно-энергетических ресурсов, в связи с чем, целью настоящих исследований являлась оценка возможностей использования конструкции устройства для аэрации придонных слоев воды в местных условиях солнечной радиации.

#### 3.2.1. Описание экспериментальной установки, методика проведения исследований

Экспериментальные исследования проводились в сентябре-октябре 2023 года на открытой площадке в г. Кирсана, провинция Латакия, в этот период были выполнены работы по изготовлению экспериментальной установки (рисунок 3.1),

отработки методики, а также опыты при разных температурах наружного воздуха.

а)



б)



а – подготовка установки; б – общий вид

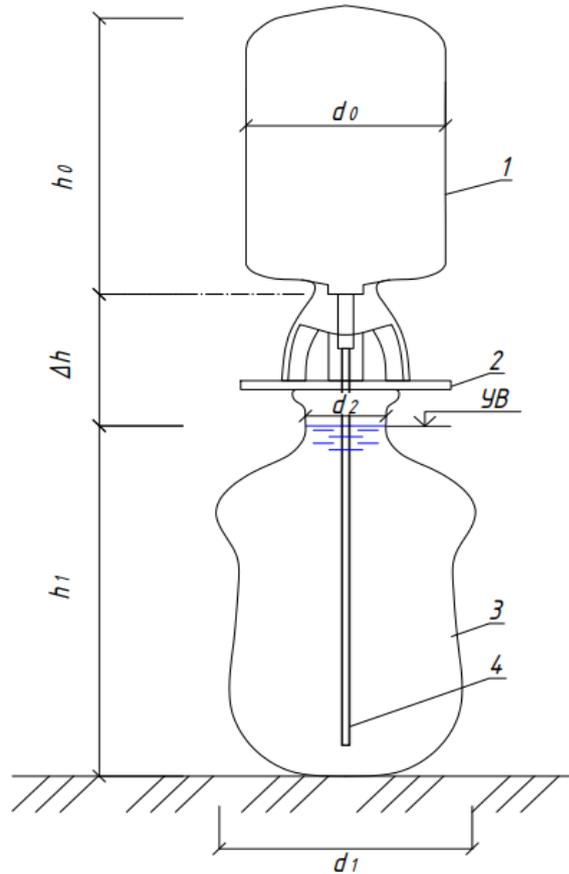
Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка  
г. Кирсана, провинция Латакия, Сирия:

Лабораторная установка представляла собой металлический корпус ёмкости-накопителя, окрашенный в черный цвет и установленный на стеклянную ёмкость, выполняющую роль водоёма, трубка-воздуховод присоединялась с помощью штуцера. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 3.2.

Размеры экспериментальной установки были следующие: высота металлического корпуса  $h_0 = 30,0$  см; внешний диаметр  $d_0 = 24,3$  см; объём 10,0 л; внутренний диаметр трубки-воздуховода 8 мм; длина 60,0 см; глубина воды в ёмкости составляла  $h_1 = 60,0$  см.

Температура наружного воздуха, также температура корпуса ёмкости-

накопителя измерялась с помощью спиртового термометра с точностью до  $1^{\circ}\text{C}$ .



1 – ёмкость-накопитель; 2 – подставка для ёмкости-накопителя;  
3 – ёмкость с водой; 4 – трубка-воздуховод

Рисунок 3.2 – Схема экспериментальной установки:

На данном этапе исследований, вускной клапан на экспериментальной установке для аэрации придонных слоев воды не предусматривался, при этом процесс «зарядки» ёмкости-накопителя воздухом осуществлялся в ручном режиме, для чего ёмкость-накопитель поднималась и располагалась в ночной период на площадке вне ёмкости с водой, на следующий день эксперимент повторялся после опускания трубки-воздуховода в воду и установки ёмкости-накопителя на подставке.

В ходе лабораторных исследований, опытная установка размещалась на открытой площадке таким образом, чтобы солнечные лучи попадали на поверхность ёмкости-накопителя в течение всего светового дня. Выход воздуха в процессе работы устройства фиксировался видеокамерой, съёмка производилась

при естественном свете, для чего установка размещалась на светлом фоне в устойчивом солнечном потоке в течение всего эксперимента (см. рисунок 3.1, б).

В начале опыта фиксировались дата, время суток и температура воздуха в момент установки ёмкости-накопителя на подставке, которая устанавливалась с помощью ртутного термометра с точностью до 1 °С. Глубина погружения трубки-воздуховода под уровень воды в опытах была постоянной, равной 40 см. Для оценки процесса поступления воздуха в воду, в качестве показателя принято количество пузырьков, выходящих из трубки-воздуховода, учет количества выходящих пузырьков фиксировался с использованием видеокамеры. В последующем производилась дешифровка видеосъёмки с использованием программы замедления видео, и подсчитывалось количество пузырьков воздуха, выходящих каждые 10 минут. Время в опытах фиксировалось с помощью электронного секундомера с точностью до 0,1 секунды. В момент выхода первого пузырька определялся промежуток времени с начала опыта и температура корпуса ёмкости-накопителя, эти же показатели фиксировались и в конце опыта, когда интенсивность выделения пузырьков практически стабилизировалась, т.е. в последующие промежутки времени (четыре интервала по 10 минут) оставалась на постоянном уровне.

Для исключения случайных ошибок все опыты проводились с трехкратным повтором, а результаты заносились в журнал.

### 3.2.2. Результаты исследований по оценке эффективности насыщения придонных слоев воды воздухом

В ходе экспериментов были установлены общие закономерности, характерные для всех условий, так после установки ёмкости-накопителя над сосудом с водой, интенсивность выхода первых пузырьков воздуха начиналась с первых 4–5 минут и в ходе опыта постепенно уменьшалась.

Основные данные экспериментальных исследований по оценке количества пузырьков воздуха, выходящих из трубки-воздуховода, в зависимости от

температурных показателей среды, в определённые промежутки времени опыта, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Опытные данные зависимости выходящих пузырьков воздуха от температуры среды

Дата опыта	Температура, °С			Время суток в опыте на момент			Количество пузырьков за период 10 минут в опыте на			
	воздуха	корпуса на		начала	выхода первого пузырька	окончания	10 мин	60 мин	120 мин	180 мин
		начало	конец							
14.10.2023	27,0	30,0	55,0	12:00	12:04	15:25	3800	3333	1680	300
18.10.2023	24,0	28,0	54,0	10:30	10:35	14:00	3416	2965	1355	155
23.10.2023	29,0	32,0	54,0	11:30	11:34	14:50	4000	3545	1835	372

По результатам измерений и расшифровки видеозаписей строились графики зависимости изменения количества пузырьков выходящего воздуха, во времени при разных условиях опытов. Сводный график для трех значений температур наружного воздуха представлен на рисунке 3.3.

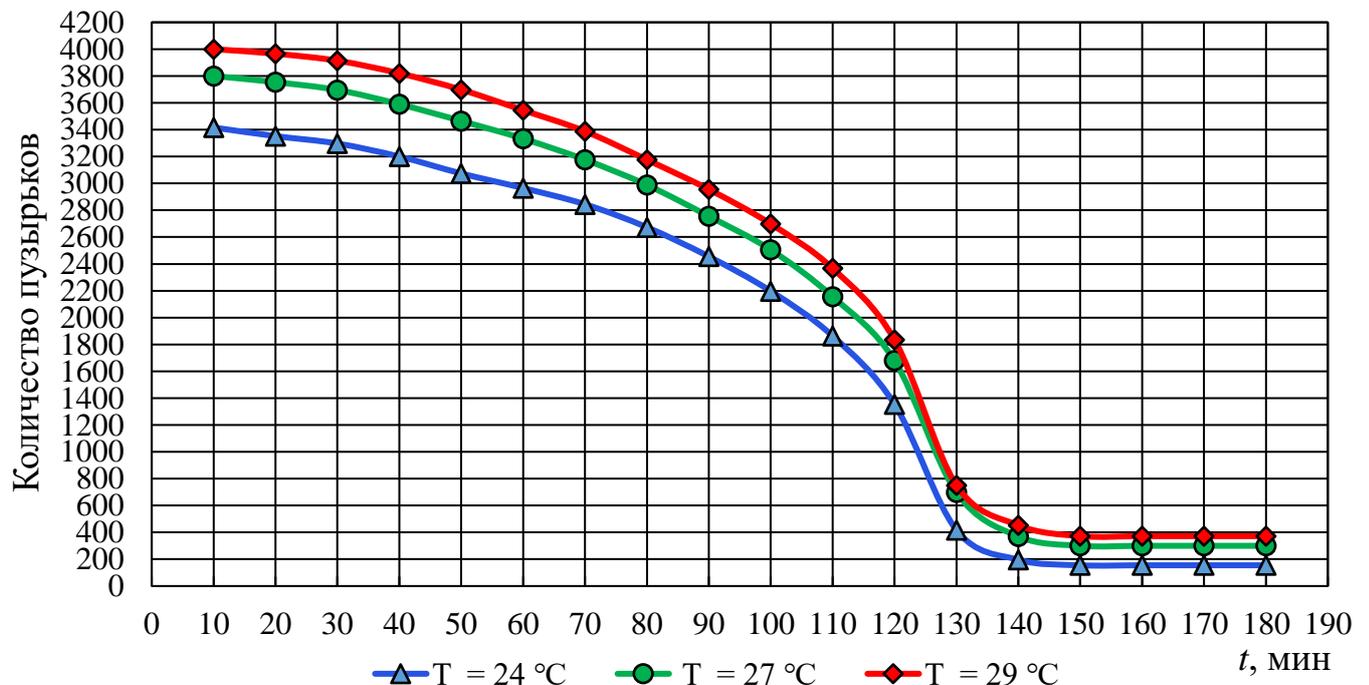


Рисунок 3.3 – Динамика изменения количества вышедших пузырьков в зависимости от температуры наружного воздуха

Анализ результатов опытов позволил установить основные закономерности в работе устройства, общие для всех условий проведения экспериментов, связанные, в первую очередь с интенсивностью выхода пузырьков воздуха из ёмкости-накопителя. Так для всех опытов в процессе выхода пузырьков воздуха, выделяются одинаковые по характеру периоды:

- первый интенсивный – период с активным выходом пузырьков, как показала дешифровка видеозаписи, в этот период выходило по несколько пузырьков в секунду, а его продолжительность в зависимости от температуры наружного воздуха составляла 110–120 минут;

- второй переходный – выражается падением интенсивности более чем в два раза и оценивается продолжительностью в среднем 20 минут, с некоторым увеличением длительности этого периода при увеличении температуры наружного воздуха;

- завершающий период – период стабилизации, в течение которого наблюдается равномерный выход пузырьков в каждый из 10 минутных интервалов продолжительностью до 40 минут.

Как следует из полученных данных в условиях эксперимента при диапазоне температур наружного воздуха 24 °С – 29 °С, для исследуемого объёма ёмкости-накопителя продолжительность выхода основной массы пузырьков независимо от температуры наружного воздуха находится в пределах 180 минут. При этом, как показала оценка данных, основное количество (порядка 95 %) вышедших пузырьков приходится на первый, интенсивный период работы устройства, это дает основание признать, что эффективная продолжительность работы устройства равна 120 минут.

Для оценки количества воздуха, выходящего при работе устройства, необходимо преобразовать результаты экспериментальных исследований, полученные в значениях вышедших пузырьков в единицы объема. Для этого был выполнен анализ отечественных и зарубежных подходов и моделей образования пузырьков в спокойных жидкостях [77, 89, 100, 108]. Проведенный анализ экспериментальных и теоретических исследований позволил принять в качестве

рабочей гипотезы условие, в соответствии с которым объём пузырька  $W_{\text{пуз}}$  в момент его отрыва от отверстия трубки-воздуховода, когда он имел форму близкую к сферической, определялся по зависимости [77]

$$W_{\text{пуз}} = \frac{\pi D_{\text{тр}}^3}{6}, \quad (3.1)$$

где  $D_{\text{тр}}$  – диаметр трубки-воздуховода.

По результатам пересчёта количества пузырьков, зафиксированных в ходе каждого опыта, в объём воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя каждые 10 минут, были построены графические зависимости изменения объёма вышедшего воздуха во времени  $t$  при разных значениях температуры наружного воздуха  $T$ .

Сводные зависимости динамики изменения объёмов вышедшего воздуха в процессе работы устройства для трех значений температур наружного воздуха, представлены на рисунке 3.4.

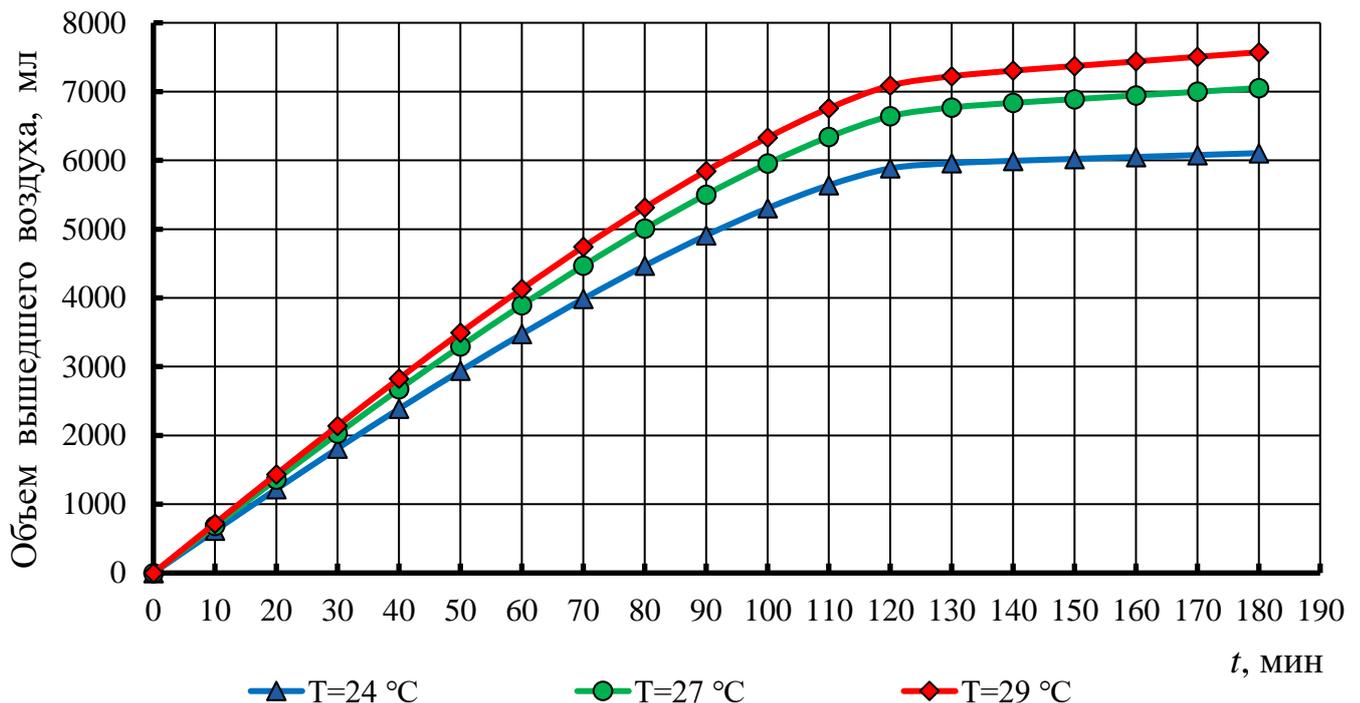


Рисунок 3.4 – Закономерность изменения объёма воздуха, вышедшего за время работы устройства

Из графиков видно, что объём вышедшего воздуха изменяется прямо пропорционально наружной температуре, что соответствует условиям изобарного процесса, при этом независимо от наружной температуры, в целом процесс

выхода воздуха с разной степенью интенсивности наблюдается в течение более чем 180 минут.

Таким образом, результаты лабораторных исследований экспериментального устройства для аэрации придонных слоёв воды в климатических условиях Сирии, позволяют сделать следующие выводы:

– при объёме ёмкости-накопителя 10 литров, режим работы устройства по насыщению воды воздухом характеризуется устойчивостью в течение более чем 120 минут;

– объём подаваемого в процессе работы устройства воздуха зависит от наружной температуры и может превышать 60% рабочего объёма ёмкости-накопителя;

– исследования по оптимизации параметров устройства для аэрации естественных водоемов на основе на использовании солнечной радиации необходимо продолжить с использованием других типоразмеров конструкции.

### 3.3. Лабораторные исследования по оценке работы и параметров устройства для аэрации придонных слоёв воды

Лабораторные работы по оценке работы и параметров устройства для аэрации придонных слоев воды поверхностных водоисточников выполнялись в условиях искусственно создаваемого режима, позволяющего управлять диапазоном возможных температурных воздействий.

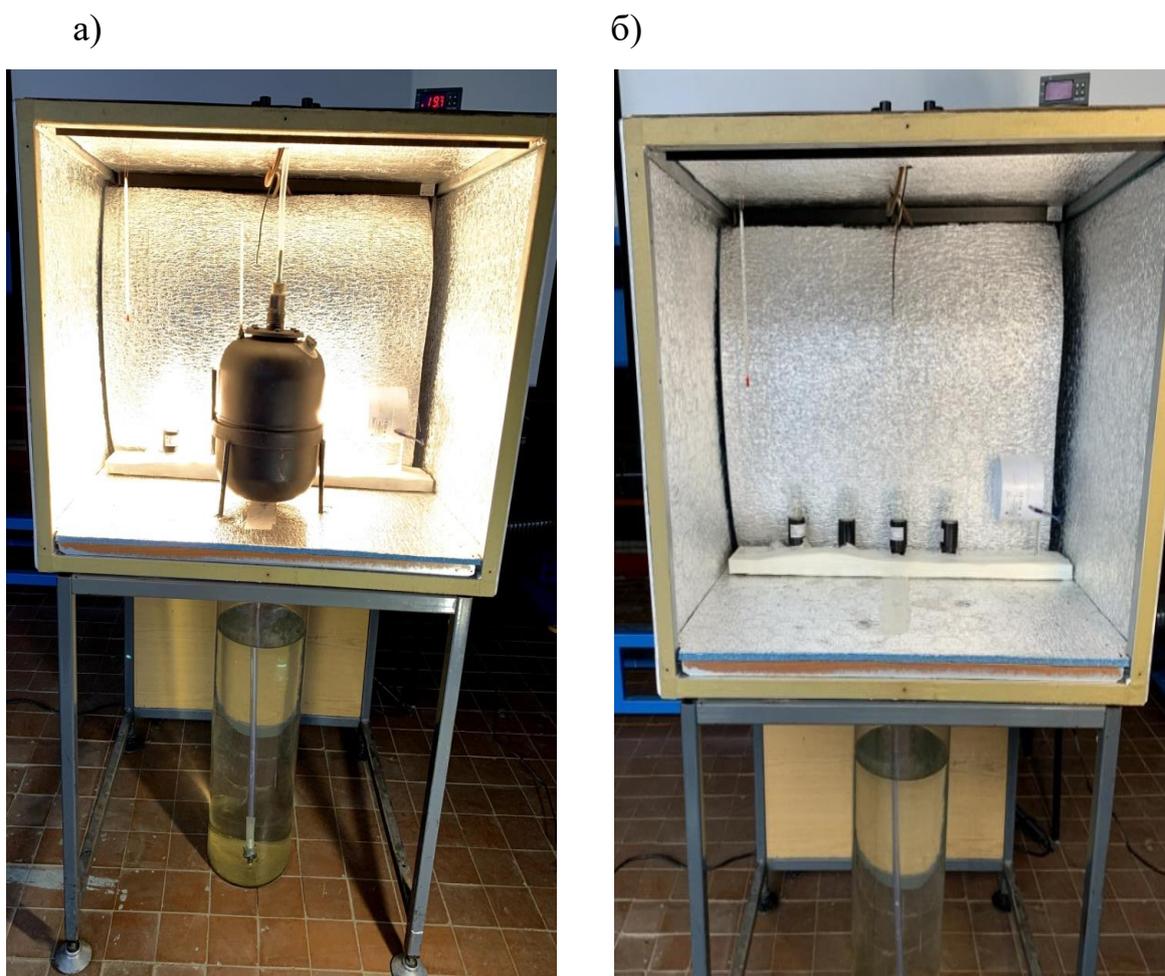
Экспериментальные исследования проводились в период с декабря 2023 по апрель 2024 года в лаборатории гидравлики водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Целью исследований было установление продолжительности работы и закономерностей изменения во времени объема воздуха, поступающего из ёмкости-накопителя в придонные слои воды в зависимости от температуры наружного воздуха и объёма самой ёмкости-накопителя с последующим сопоставлением результатов с расчетными значениями.

### 3.3.1. Экспериментальная установка, методика проведения, приборы и оборудование, оценка точности экспериментов

Исследования устройство для аэрации придонных слоев воды проводились в условиях, искусственно созданных в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева [51].

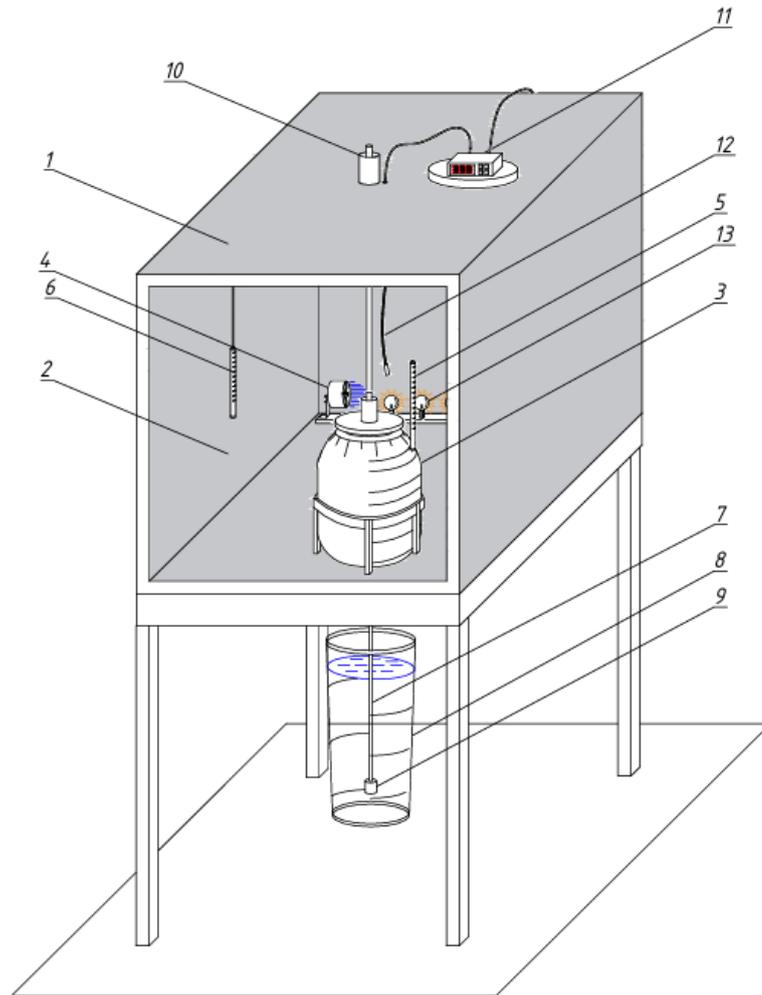
Для проведения лабораторных исследований была изготовлена термокамера, каркаса размером сторон  $70 \times 70 \times 70$  см, пять из которых были покрыты изнутри отражающим самоклеющимся фольгированным утеплителем толщиной 10 мм, внутри камеры размещалась экспериментальная модель устройства для аэрации придонных слоев воды. Общий вид с размещением модели устройства и конструкция термокамеры приведены на рисунке 3.5



а – общий вид установки; б – внутренняя конструкция термокамеры

Рисунок 3.5 – Экспериментальная установка устройства для аэрации придонных слоёв воды в термокамере:

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 3.6.



- 1 – корпус термокамеры; 2 – смотровая панель; 3 – модель ёмкости-накопителя;  
 4 – вентилятор; 5 и 6 – термометры, соответственно в полости модели и термокамере;  
 7 – трубка воздуховода; 8 – сосуд с водой; 9 – выпускной клапан; 10 – впускной клапан;  
 11 – регулятор температуры; 12 – датчик регулятора; 13 – лампы накаливания

Рисунок 3.6 – Схема экспериментальной установки:

Для поддержания стабильной температуры внутри термокамеры у задней стенки были установлены вентилятор и четыре лампы накаливания каждая мощностью 95 Вт, подключенные к регулятору температуры, установленному на внешней поверхности термокамеры, который, в свою очередь, содержал датчик для измерения температуры в диапазоне 0–100 °С и управления работой ламп накаливания, размещенный внутри термокамеры. Воздух, активированный вентилятором, направлялся непосредственно к лампам, что позволяло равномерно распределять выделяемое ими тепло внутри термокамеры.

Лицевая сторона термокамеры выполнена в виде смотровой панели из прозрачного оргстекла толщиной 5 мм, для визуального наблюдения и снятия показаний измерительных приборов. В центре верха и днища камеры выполнены сквозные отверстия диаметром 10 мм для вывода трубок, соответственно впускного и выпускного клапанов модели, снизу, под термокамерой установлена стеклянная ёмкость с водой, в которую погружался воздухопровод с выпускным клапаном.

Лабораторная установка оборудована спиртовыми термометрами для измерения температуры внутри термокамеры и в корпусе модели устройства для измерения температуры внутри ёмкости-накопителя, время в опытах фиксировалось с помощью секундомера.

Модель устройства для аэрации придонных слоев воды представляет собой металлический цилиндрический корпус ёмкости-накопителя, снизу и сверху которого расположены штуцеры, соединенные пластиковыми трубками, соответственно с выпускным и впускным клапаном. Для увеличения поглотительной способности теплового излучателя и последующего излучения тепла молекулами воздуха ёмкости-накопителя корпус последней был окрашен в черный цвет.

В лабораторных экспериментах использовались три типа-размера ёмкости-накопителя объемом 6,5 л, 10,0 л и 13,5 л, внешним диаметром 18,5; 25,3 и 25,0 см и высотой 24,0; 20,0 и 27,5 см, в соответствии с рисунком 3.7.



Рисунок 3.7 – Общий вид используемых ёмкостей-накопителей

Остальные параметры установки во всех опытах были одинаковыми: внутренний диаметр трубки-воздуховода 7 мм; длина трубки 80 см, погружение выходного отверстия клапана под уровень воды в ёмкости составляло 60 см.

Диапазон температуры воздуха внутри термокамеры поддерживался нагревателем автоматически, так что температура воздуха на протяжении всего эксперимента колебалась от 15 до 50 °С, соответствующий температуре воздуха в Сирии в течение большей части года.

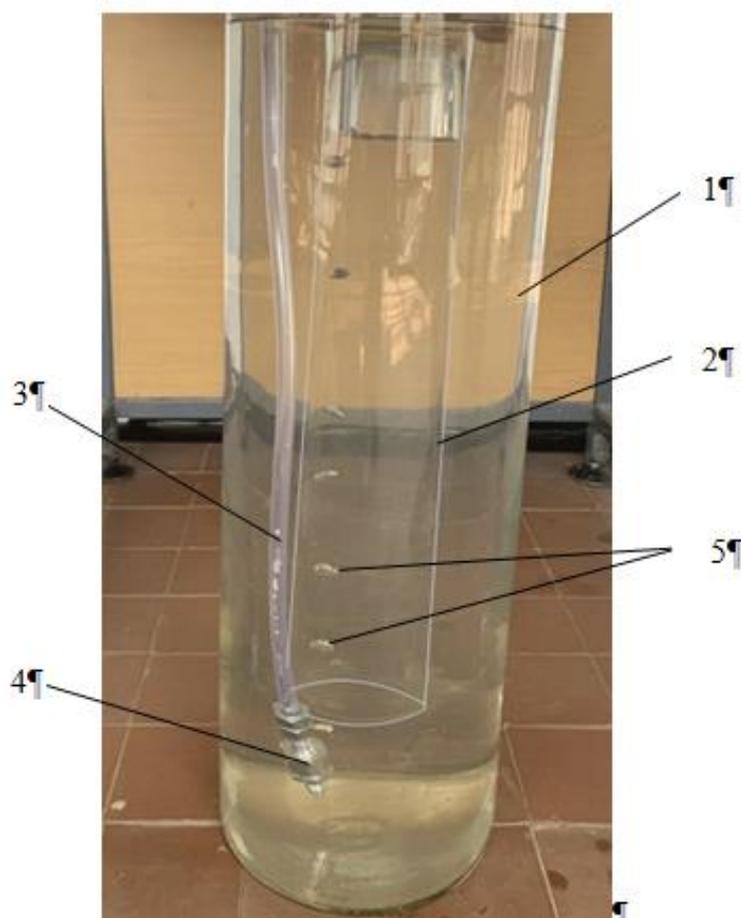
В ходе экспериментов основными параметрами, характеризующими работу установки, являлись продолжительность работы устройства и объём воздуха, выходящего в воду из ёмкости-накопителя, при этом объём воздуха определялся двумя методами.

Первый метод пузырьков – метод фиксации, с помощью видеосъёмки и последующего использования техники замедления видеозаписи для оценки количества пузырьков, выходящих из трубки-воздуховода, и дальнейшим пересчетом объёма воздуха через количество пузырьков, при условии, что средний диаметр одного пузырька принимается равным внутреннему диаметру трубки [13, 100, 108]. Методика проведения экспериментов основывалась на материалах и опыте исследований, приведенных во второй главе настоящей работы и опубликованная авторами ранее [31–33].

Метод водоизмещения – это один из простых и распространенных методов, используемых для определения объёма газа, выделяющегося в жидкой среде в отечественной и зарубежной практике [103]. Расход выделяемого воздуха определялся с помощью стеклянного мерного сосуда объёмом 2000 см<sup>3</sup>, который погружался под уровень сосуда с водой и заполнялся водой до полного отсутствия пузырьков воздуха. Затем сосуд переворачивался кверху дном и поднимался над уровнем воды в ёмкости. На боковой поверхности мерного сосуда нанесены деления с ценой одного деления 10 см<sup>3</sup>. Под горловину мерного сосуда подводился штуцер выходного клапана, таким образом, чтобы весь выходящий из ёмкости-накопителя воздух попадал в мерный сосуд. После завершения процесса выделения воздуха мерный сосуд поднимался, уровни воды

в сосуде и емкости выравнивались и по шкале мерного сосуда определялся объем вытесненной воды.

Процесс измерения расхода воздуха методом водоизмещения приведен на фотографии рисунка 3.8.



1 – сосуд с водой; 2 – мерный сосуд; 3 – трубка воздуховода;  
4 – выпускной клапан; 5 – пузырьки воздуха

Рисунок 3.8 – Измерение объема выходящего воздуха в опытах методом водоизмещения:

Таким образом, объем воздуха, вышедший из ёмкости-накопителя в процессе работы устройства, определялся равным объемом воды, вытесненной из мерного сосуда.

Всего было проведено 36 опытов в двух сериях – с выпускным клапаном и без клапана, для исключения случайных ошибок каждый опыт повторялся трижды.

### 3.3.2. Анализ результатов исследований по оценке параметров работы экспериментального устройства

Основным параметром при оценке эффективности работы устройства, был принят объем воздуха, вышедшего из ёмкости-накопителя при соответствующем температурном режиме за время работы устройства.

В ходе каждого опыта серии фиксировались следующие параметры:

1. Момент времени, когда в термокамере включался нагреватель, и этот момент времени принимался за начало отсчёта ( $\tau = 0$ ).

2. Время, прошедшее с момента включения нагревателя до момента выхода первого пузырька воздуха в воду  $\tau_n$ , а также температура воздуха внутри емкости-накопителе в этот момент  $t_n$ .

3. Время работы устройства – это время между моментом выпуска первого воздушного пузырька и моментом, когда интенсивность выделения пузырьков практически стабилизировалась на минимальном уровне  $\tau_l$ , а также температура воздуха внутри емкости-накопителе в этот момент  $t_l$ .

Результаты обработки данных серий опытов по определению объема, вышедшего воздуха в термокамере и при нагревании модели ёмкости-накопителя до температуры начала и окончания выхода пузырьков приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Данные опытов по оценке объёма вышедшего воздуха с температурой воздуха при выходе первого пузырька

Объем ёмкости, л	Серия опыта В*	Температура воздуха, в термокамере и при выходе пузырьков °С			Время выхода пузырьков воздуха, с		Опытный объем воздуха методом, мл		Относительное отклонение, %
		в камере	в начале	в конце	начало	окончание	объёмным	пузырьков	
6,5	А	33	20	45	320	1244	800	856	6,5
	Б	29	18	47	284	1244	820	885	7,3
10,0	А	44	25	53	400	1450	1260	1300	3,1
	Б	41	24	55	356	1459	1300	1330	2,2
13,5	А	45	26	56	432	1652	1540	1550	0,6
	Б	44	24	59	383	1678	1580	1595	0,9

\* А – без клапана; Б – с клапаном

Как видно из таблицы 3.2, относительное отклонение в определении объема воздуха в опытах разными методами не превышает 10 %, при этом, следует отметить, что результаты, определенные методом пузырьков во всех опытах выше, чем методом водоизмещения, поэтому в последующем использовались оба метода.

Если сравнивать серии опытов с клапаном и без клапана, то объем выходящего воздуха при наличии клапана во всех опытах больше, однако это превышение колеблется в пределах от 2,4% до 3,3%, в этой связи можно предположить, что разница в сериях связана с объемом воздуха находящегося в воздуховоде после закрытия клапана.

Лабораторными исследованиями экспериментальной установки устройства для аэрации придонных слоев воды по оценке объемов выходящего воздуха установлено, что в зависимости от типоразмера ёмкости-накопителя при температуре воздуха в термокамере равной 50°C продолжительность процесса выделения воздуха не превышала получаса, при этом объем выходящего воздуха также зависел от рабочего объема ёмкости-накопителя.

Основные результаты опытов по определению объема воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя, сравнивались с расчетными значениями, при этом расчетное значение объема воздуха  $V_{\text{воз.р}}$  определялось с помощью уравнение Клапейрона-Менделеева в решении, приведенном в второй главе данной работы, с учетом (2.6) по формуле

$$V_{\text{воз.р}} = \frac{m_{\text{аз.в}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (3.2)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха внутри ёмкости-накопителя на момент выхода первого пузырька при расчетной температуре воздуха  $T_{\text{ср}}$ .

В результате обработки данных исследований, приведенных в таблице 3.3, установлено, что при диапазоне наблюдаемых температур воздуха в ёмкости-накопителе и продолжительности процесса нагревания, опытный объем воздуха поступающего на аэрацию составлял в среднем 12,3 % от рабочего объема ёмкости-накопителя, а относительное отклонение опытных данных от расчетных

не превышает 2,0 %.

Таблица 3.3 – Данные экспериментов по определению объема, вышедшего воздуха из ёмкости-накопителя в термокамере

Объем ёмкости-накопителя, л	Температура воздуха, °С в ёмкости-накопителе при выходе пузырька		Время выхода пузырька, с		Объем воздуха, мл	
			первого	последнего	опытный	расчетный
	первого	последнего				
6,5	23	62	190	1103	820	806,4
10,0	28	66	220	1540	1200	1191,5
13,5	31	70	240	2100	1660	1634,0

Подводя итоги экспериментов в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева необходимо отметить:

- полученные результаты отражают качественную картину процесса выделения воздуха из ёмкости-накопителя устройства для аэрации придонных слоёв воды при повышении окружающей температуры, соответствующую данным исследований в условиях Сирии;

- количественные показатели работы устройства зависят от типоразмера конструкции и параметров окружающей среды, в первую очередь температуры воздуха, и отражают условия лабораторного эксперимента, которые в большей степени соответствуют климатическим характеристикам отечественных регионов;

- данные лабораторных исследований свидетельствуют о необходимости проведения натурных опытов, включая оценку работы устройства на изменения показателей качества воды в естественных водоёмах.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Для установления основных закономерностей показателей работы устройства для аэрации придонных слоев воды в зависимости от климатических параметров среды и технических характеристик конструкции выполнены лабораторные исследования в условиях Сирии и лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

2. В результате лабораторных исследований экспериментального образца устройства для аэрации придонных слоев воды объемом 10 литров в климатических условиях Сирии установлена устойчивая работа в течение более чем 120 минут при продолжительности работы в целом до 180 минут. Объем подаваемого в процессе работы устройства воздуха зависит от наружной температуры превышать 60% рабочего объема ёмкости-накопителя.

3. Лабораторные исследования экспериментальных образцов устройств объемом 6,5; 10,0 и 13,5 литров в термокамере лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показали прямую связь выходных характеристик с размером конструкции, а также качественную картину процесса выделения воздуха при повышении окружающей температуры в соответствии с климатическими характеристиками региона размещения устройства.

4. В результате обработки лабораторных исследований в диапазоне температур воздуха в термокамере до 50°C и продолжительности процесса выдержки температуры, опытный объем воздуха, поступающего на аэрацию, и составлял в среднем 12,3 % от рабочего объема ёмкости-накопителя, а относительное отклонение опытных данных от расчетных данных не превышало 2,0 %.

## ГЛАВА 4. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ВОДЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

### 4.1. Состав, цель и задачи натуральных исследований

Разработанное устройство для аэрации придонных слоев воды в соответствии с патентом на полезную модель [72] предназначено для улучшения качества показателей естественных водоисточников. В результате лабораторных исследований установлены основные технические характеристики устройства в зависимости от температурных условий и параметров технического устройства.

Однако основными критериями, при оценке эффективности конструкции для аэрации естественных водоемов, являются изменения физико-химических показателей качества воды, произошедшие в результате его работы.

Цель исследований – оценка условий работы при различных значениях технических параметров устройства для аэрации придонных слоев воды и возможностей воздействия на физико-химические показатели качества поверхностных вод в климатических условиях объектов Сирийской Арабской Республики и центрального региона Российской Федерации.

Задачами, которые решались при проведении исследований являлись подготовка технической, методической и инструментальной базы, а также проведение экспериментов по установлению изменений параметров качества воды, включающих водородный показатель, концентрацию растворенного кислорода (РК), температуру, мутность и БПК. Указанные параметры оценивались в фоновом режиме, т.е. до начала экспериментов и после работы опытной установки для аэрации придонных слоев воды.

Натурные исследования проводились в климатических условиях Сирии на водохранилище 16 Тишрин и на прудах лаборатории прудового рыбоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, результаты которых опубликованы в наших работах [30, 32, 33, 52].

## 4.2. Натурные исследования устройства в условиях водохранилища 16 Тишрин в Сирии

Климатические условия Сирии, характеризуются показателями, которые в наибольшей степени соответствуют требованиям, исследуемой конструкции, это, прежде всего, теплым, сухим и ясным летом с температурой воздуха около  $30^{\circ}\text{C}$ , однако температура воздуха превышающая значение в  $25^{\circ}\text{C}$ , сохраняется и в осенний период, что дало возможность провести натурные исследования в октябре 2023 года. Вторым климатическим параметром, оказывающим существенное влияние на работу устройства-аэратора, является ветер, в целом показатели средней скорости ветра оцениваются как слабый, при скорости 3,6–3,8 м/с.

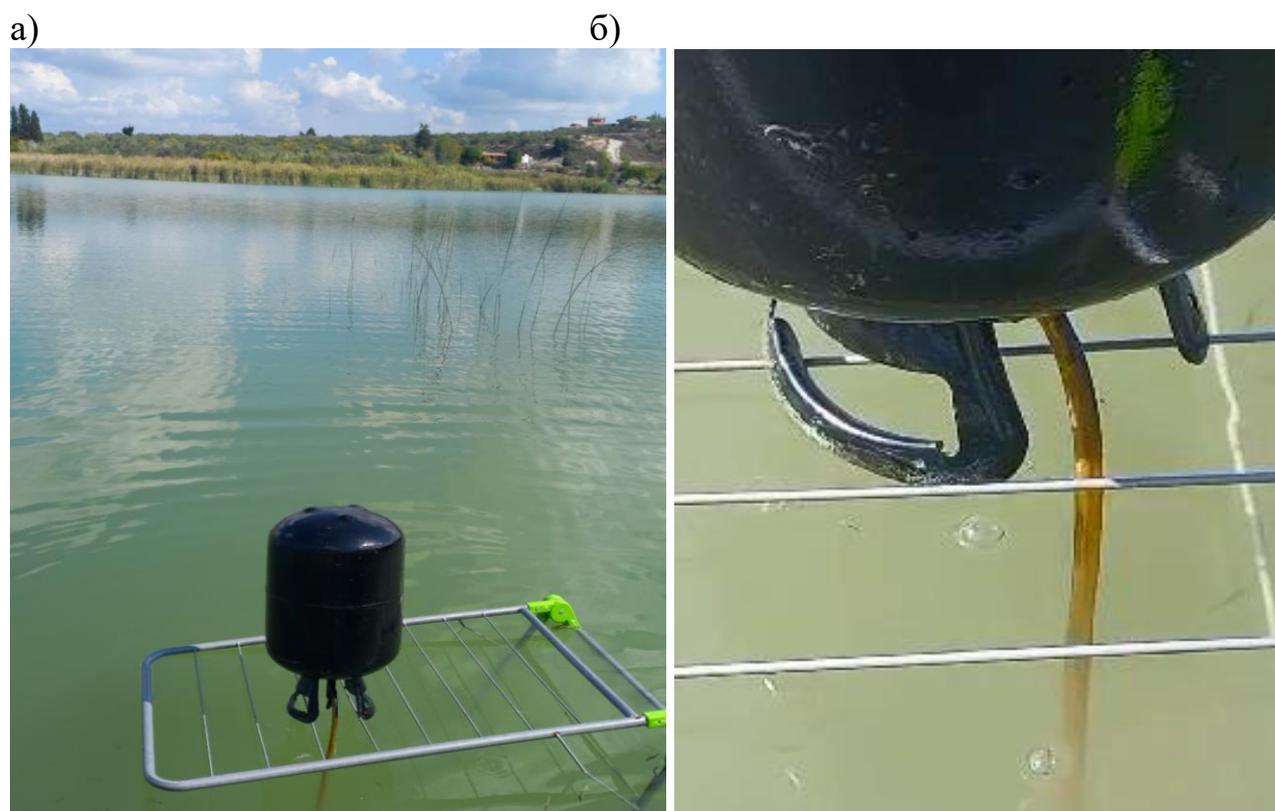
Материалы натурных исследований по исследованию конструкции устройства для улучшения качества воды поверхностных источников, представлены в наших работах [34, 50, 54].

### 4.2.1. Объект исследований, цель и методика проведения исследований

Объектом натурных экспериментов являлось водохранилище 16 Тишрин, расположенное в провинции Латакия, примерно в 20 км к северо-востоку от г. Кирсана. В ходе экспериментов использовалась опытная установка, принятая в лабораторных условиях на открытом воздухе, таким образом, климатические характеристики объектов исследований в лабораторных и натурных опытах были одинаковыми, а, следовательно, возможно сравнение показателей работы установки.

Целью натурных исследований являлось изучение условий и оценка результатов воздействия работы устройства для аэрации придонных слоев воды на изменения физико-химических показателей качества воды в водохранилище 16 Тишрин.

Устройство для аэрации придонных слоев воды было установлено на водохранилище 16 Тишрин в месте размещения водозабора для подачи воды на водоснабжение, примерно в 22 метрах от водозабора и в 14 метрах от берега водохранилища. Экспериментальная установка размещалась на алюминиевой эстакаде с опорами, погруженными в дно водоема, и обеспечивающей свободный доступ к зоне выхода воздуха из трубки-воздуховода на глубине 1,5 м от поверхности воды (рисунок 4.1).



а – общий вид установки; б – выход пузырьков воздуха

Рисунок 4.1 – Компоновка экспериментальной установки в условиях водохранилища 16 Тишрин:

Основными показателями оценки качества воды приняты: водородный показатель ( $pH$ ); растворенный кислород (мг/л); температура ( $^{\circ}C$ ); мутность (мг/л); биохимическое потребление кислорода (БПК) (мг/л), которые фиксировались с помощью комплекса приборов, представленного на рисунке 4.2, а также с использованием необходимого оборудования, реактивов, емкостей для взятия, транспортирования и хранения проб.



а –  $pH$ -метр «EZODO PCT-407»; б – мутномер «HACH 2100P Turbidimeter»;  
 в – оксиметр «Oxi 315i»; г – головка системы «OxiTop» для измерения БПК

Рисунок 4.2 – Приборы и оборудование для измерения параметров воды в натуральных условиях водохранилища 16 Тишрин:

Для определения величины  $pH$  и измерения температуры воды использовался  $pH$ -метр «EZODO PCT-407» (рисунок 4.2, а) – это малогабаритный автономный микропроцессорный прибор для измерения  $pH$ , ОБП, температуры, электропроводности, содержания солей. Диапазон измеряемых параметров достаточно широк –  $pH$  (от 0 до 14), с точностью  $\pm 0.01$ , и температур (от 0 до  $110^{\circ}\text{C}$ ) с точностью  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . Температура воды в водохранилище измерялась в

зоне выхода воздуха на глубине 1,3 м.

Пробы воды для измерения мутности отбирались в стеклянные емкости с плотно завинчивающимися пробками, объем пробы составлял 500 см<sup>3</sup>. Анализ проводился в лаборатории «Инженерной экологии» Университета Тишрин с помощью мутномера «НАСН 2100P Turbidimeter» (см. рис. 4.2, б). Мутность воды оценивалась в соответствии с ГОСТ 31861-2012 [19], устанавливающим общие требования к отбору, подготовке, транспортированию и хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойств. В хорошо перемешанной пробе выполнялись измерения в соответствии с инструкциями изготовителя прибора, не позднее, чем через 6 ч после отбора проб.

Растворенный кислород является неустойчивым параметром, так как, его концентрация зависит от многих показателей, важнейшим из которых является температура воды, поэтому измерения производились с помощью оксиметра «Oxi 315i» (см. рис. 4.2, в) непосредственно на глубине 1,3 м от поверхности воды в области выхода пузырьков из трубки-воздуховода. Диапазон измеряемых параметров прибором: РК (от 0 до 19.99) мг/л с погрешностью  $\pm 0.5\%$ , температур (от  $-5.0$  до  $+50$  °C) с погрешностью  $\pm 0.1$ .

Оценка концентрации БПК проводилась с помощью измерительной системы «OxiTop» (см. рис. 4.2, г), работа которой основана на расчете разницы величины давления воздуха, попавшего в закрытый сосуд до и после инкубации при температуре (20°C) с применением передовых методик измерения разницы давлений, использованием ингибиторов азотирования и материалов для поглощения газа CO<sub>2</sub>, образующегося в процессе окисления органических веществ.

Для сопоставимости результатов опытов все измерения были проведены с трехкратным повтором 20, 21 и 22 октября 2023 года при температуре воздуха +24°C и влажности 65 %, в одно и то же время: в 10:00 утра перед началом работы устройства и в 13:00 после его использования. Пробы брались в одной точке из зоны активного выхода пузырьков воздуха на глубине 1,3 м от поверхности воды.

При выполнении полевых исследований, взятии проб воды и обработки

результатов натурных экспериментов принимали участие сотрудники лаборатории «Инженерной экологии», кафедры инженерной экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин в провинции Латакия Сирии. Методика исследований, взятия проб воды и обработки полевых материалов проводились в соответствии с ГОСТ Р 58556–2019 [20]<sup>1</sup>.

#### 4.2.2. Результаты исследований по оценке параметров качества воды в процессе работы устройства

По результатам натурных экспериментов, и анализа данных опытов оценивались, не только работоспособность конструкции в целом, но и характер изменения показателей качества воды, произошедших в процессе работы устройства для аэрации воды.

На первом этапе анализа результатов исследований, была дана оценка процесса работы устройства и его основных технических показателей. В ходе исследований в целом получили подтверждение данные лабораторных опытов в части, активности включения в работу после установки устройства, периодичности процесса и количественных показателей выхода воздуха.

При установившихся значениях дневной температуры вначале эксперимента наблюдался период интенсивного выхода воздуха из устройства в воду, затем переходный – с постепенным снижением интенсивности и период стабилизации [30, 31]. Однако, в отличие от лабораторного эксперимента, процесс выхода воздуха в натурных условиях выражен несколько равномернее по интенсивности, что сказалось на его продолжительности, при этом активный период визуально определен равным 120 минутам.

Для оценки качественных показателей работы устройства при аэрации воды использовались результаты лабораторных исследований взятых проб, которые были проведены в лаборатории «Инженерной экологии», кафедры инженерной

---

<sup>1</sup> Исследования в лаборатории «Инженерной экологии» факультета гражданского строительства Университета Тишрин проводились в соответствии с нормативной базой САП, которая разработана в полном соответствии с соответствующими стандартами РФ. Автор выражает благодарность сотрудникам Университета Тишрин в г. Латакия за помощь в проведении натурных экспериментов.

экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин (Приложение 1 и 2).

Сводные данные результатов исследований по оценке показателей качества воды перед началом работы и после использования устройства для аэрации приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнение физико-химических показателей воды до и после использования устройства для аэрации

Дата опыта	Температура воды, (°С)		Мутность, (мг/л)		РК, (мг/л)		БПК, (мг /л)		рН	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
20.10.2023	25	23	20	5,0	4,5	6,5	7,0	4,5	7,5	7,7
21.10.2023	24	22	23	5,7	4,0	5,8	8,0	5,4	7,2	7,3
22.10.2023	24	23	21	5,5	4,3	6,0	7,6	5,0	7,3	7,5

Как видно из данных таблицы, работа исследуемого устройства оказало положительное влияние на все измеряемые в ходе опытов физико-химические показатели качества воды. Так, незначительные изменения температуры воды связаны с возросшей вертикальной циркуляцией, вызванной восходящими пузырьками воздуха от работы устройства.

Изменение мутности свидетельствует о наличии в воде водохранилища загрязняющих веществ органического происхождения, так как в процессе аэрации кислород воздуха потребляется бактериями для разложения органических соединений и преобразования их в углекислый газ и воду, снижая мутность воды в водоисточнике [98].

Распределение содержания РК в воде зависит от глубины и снижается от поверхностной горизонтальной части пруда до придонной части. Непосредственно у поверхности концентрация может быть несколько выше, что обусловлено фотосинтезной активностью. Также летом на глубинах, где прослеживается зона кислородного минимума, обнаруживаются большие скопления зоопланктона, потребляющего кислород в процессе метаболизма, что

приводит к уменьшению концентрации РК в воде в придонных горизонтах.

Из таблицы 4.1 следует, что концентрация РК в воде в зоне взятия проб повысилась на 40-45 %, после использования устройства в течение всего трех часов, и достигла значений, необходимых для водоемов рыбохозяйственного назначения 6 мг/л [79], что свидетельствует об эффективности устройства в обогащении придонных слоев воды растворенным кислородом.

Влияние работы устройства для аэрации придонных слоёв воды в водохранилище указывают и изменения показателей *БПК* и *pH*. Так, например, несмотря на то, что класс водохранилища по показателю *БПК*<sub>5</sub> (более 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) оценивается как «грязные» [96], снижение в ходе опыта концентрации *БПК* в среднем на 35 % (см. табл. 4.1) свидетельствует о положительной динамике процесса насыщения воды кислородом.

Анализ материалов натуральных исследований опытной установки для аэрации придонных слоёв воды водохранилища 16 Тишрин в Сирии, при времени работы в течение 180 минут, позволяет сделать заключение о наличии эффекта воздействия на основные физико-химические показатели качества воды, который проявляется:

- повышением концентрации РК в воде в зоне взятия проб на 40–45 %;
- снижением температуры воды на 1–2 °С;
- снижением концентрации *БПК* на 35%;
- уменьшением мутности и изменением водородного показателя (*pH*).

Таким образом, в условиях солнечной радиации Сирии, доказана устойчивая работа конструкции, перспективность разработки и исследований устройств на основе использования возобновляемых источников энергии. Вместе с тем одним из основных недостатков исследуемой конструкции следует признать ограниченную продолжительность работы во времени, связанную с периодом выравнивания температур наружного воздуха и воздуха внутри ёмкости-накопителя, что является предметом дальнейших исследований подобных конструкций.

#### 4.3. Исследования устройства в условиях прудов лаборатория прудового рыбоводства Тимирязевской академии

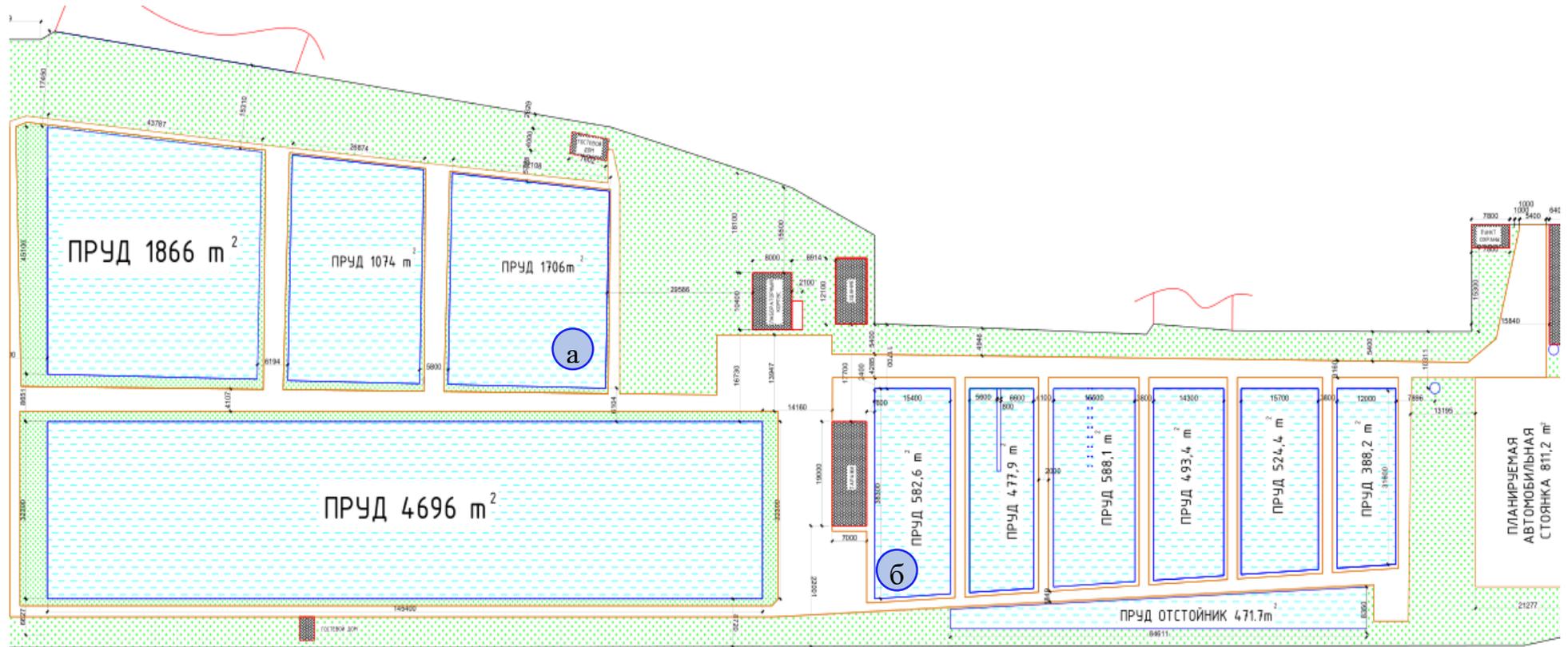
Натурные эксперименты проводились с 03.07.2024 по 03.09.2024 на площадках прудов лаборатории прудового рыбоводства в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, на которой расположены десять прудов учебного, научного и производственного назначения, имеющих различные размеры, общая площадь прудов составляет 12396,6 м<sup>2</sup>. Исследования проводились на двух площадках – в выростном пруду площадью 1706 м<sup>2</sup> и резервном пруду площадью 582,6 м<sup>2</sup> [52]. План прудов и места размещения опытных станций приведены на рисунке 4.3.

Целью натурных исследований являлось определение параметров работы устройства для аэрации придонных слоев воды под влиянием температур воздуха в условиях солнечной радиации, а также оценка работы устройства по изменению концентрации РК в воде пруда.

Исследования проводились с использованием тех же типоразмеров экспериментальных емкостей-накопителей (см. рисунок 3.7), что и лаборатории, таким образом, технические характеристики исследовательских элементов в полевых и лабораторных экспериментах были одинаковыми, с разницей лишь в источнике теплового излучения.

В то же время в процессе натурных исследований было установлено, что на характер и результаты работы конструкции устройства для аэрации придонных слоев воды, оказывают влияние климатические характеристики местности. В частности, на интенсивность нагрева ёмкости-накопителя и, соответственно, на работу устройства и параметры процесса аэрации оказывает влияние ветер.

По данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, период исследований летом 2024 года отмечался частой облачностью, среднесуточными порывами ветра до 9,0 м/с и среднесуточной температурой воздуха 22,4– 19,2°С.



а – объемов вышедшего воздуха (выростной пруд); б – параметров качества воды (резервный пруд)

Рисунок 4.3 – План прудов лаборатория прудового рыбоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и места установки экспериментальных устройств при исследовании:

#### 4.3.1. Экспериментальная установка, методика проведения эксперимента, приборы и оборудование, оценка точности измерений

Исследования проводились с использованием экспериментальных емкостей-накопителей, приведенных на рисунке 4.4.

а)



б)



в)



а – конструкции емкостей; б – монтаж установки; в – рабочее положение устройства

Рисунок 4.4 – Экспериментальные устройства в условиях прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии:

В ходе натуральных экспериментов оценивались работоспособность конструкции в естественных условиях, так и измерялся объем воздуха, который может быть выпущен при различных объемах ёмкости-накопителя, а также изучалась эффективность устройства в повышении уровня РК в воде.

Однако уже первые эксперименты показали, что процесс работы устройства в условиях прудов, существенно зависит от температуры воздуха и, особенно, от воздействия ветра, оказывающего охлаждающее воздействие на устройство. В связи с этим к исследованию были приняты конструкции устройств с защитными колпаками, в виде перевернутого прямого и наклонного усеченного конуса. Колпак выполнялся из фольгированного материала, что позволяло не только обеспечить защиту ёмкости-накопителя от охлаждающего воздействия ветра, но и увеличить поток солнечного излучения за счет эффекта отражения падающих лучей от внутренней фольгированной поверхности колпака (рисунок 4.5).

а)



б)



а – прямого; б – наклонного

Рисунок 4.5 – Экспериментальные устройства с защитными колпаками в виде перевернутого усеченного конуса:

Исследования включали проведение двух серий опытов:

– первая серия, по оценке объема вышедшего воздуха проводились как при наличии колпака, так и без него в условиях пруда площадью 1706 м<sup>2</sup>, на чистой воде (см. рисунок 4.3 – 4.5) с использованием методики лабораторных

экспериментов, изложенной выше (см. 3.3.1) [32]. Всего было проведено более 75 опытов в диапазоне температур наружного воздуха 22 – 30°C. В процессе исследований объем выходящего воздуха измерялся методом водоизмещения с использованием мерного цилиндра объемом 2000 см<sup>3</sup>, при шкале деления цилиндра 20 см<sup>3</sup>, относительная ошибка измерения не превышала 2%.

Для фиксации моментов выделения первого и последнего пузырьков и всего процесса выделения воздуха, контроля установки оборудования и соблюдения условий эксперимента использовалась видеокамера для подводной съемки SONY IMX225 с диагональю экрана 4,3 дюйма (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Фиксация процесса выделения воздуха из устройства с использованием видеокамеры

– вторая серия, по оценке концентрации РК в воде при работе устройства только с колпаком, резервный пруд площадью 582,6 м<sup>2</sup> (рисунок 4.7).

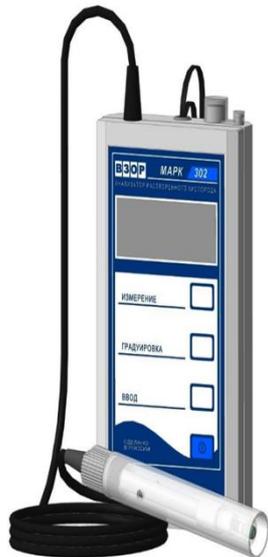
Необходимость проведения исследований в резервном пруду вызвана тем, что в выростном пруду, за счет наличия постоянного водообмена, концентрация РК находилась на нормативном уровне, поэтому эксперименты по изучению закономерностей изменения концентрации РК в процессе работы устройства были перенесены в условия с пониженным содержанием РК.



Рисунок 4.7 – Экспериментальная установка с колпаком для оценки содержания РК в условиях резервного пруда

Оценка концентрации РК производилась с помощью анализатора растворенного кислорода «МАРК-302Т» (оксиметра) на глубине воды в области выхода пузырьков из трубки-воздуховода (рисунок 4.8).

а)



б)



а – общий вид оксиметра с датчиком; б – жидкокристаллический индикатор

Рисунок 4.8 – Анализатор растворенного кислорода МАРК-302Т:

Диапазон измеряемых параметров прибором: диапазон измерений концентрации РК при температуре анализируемой среды 20°C (от 0 до 10.00) мг/л с погрешностью  $\pm (0,003 + 0,04C)$ , где  $C$  – измеренное значение концентрации РК,

мг/л, а температур (от 0 до +50 °С) с погрешностью  $\pm 0.3$  (свидетельство о поверке Приложение 3).

Экспериментальная установка размещалась на поплавке из «Пеноплэкс» размером 60×120 см, толщиной 10 см, на котором по кругу с углом 45° были выполнены отверстия для обеспечения свободного размещения датчика анализатора МАРК-302Т в зоне установки обратного клапана устройства, который погружался на один метр ниже уровня воды в пруду (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Поплавок с размещением отверстий для установки датчика оксиметра

В связи с тем, что целью устройства является насыщение кислородом воздуха донных слоев воды, в опытах датчик прибора выставлялся на глубине 90 см от поверхности воды на расстоянии 5 см от трубки-воздуховода, т.е. на 10 см выше обратного клапана, в зоне выхода пузырьков воздуха.

В начале опыта фиксировалась температура наружного воздуха и фоновая концентрация растворенного кислорода в воде пруда  $PK_0$ , после установки модели устройства и видеокамеры фиксировалось время выхода первого пузырька, и в последующем через каждые 5 минут считывались текущие показания концентрации  $PK_i$  на индикаторе оксиметра. С выходом последнего пузырька, фиксацией продолжительности работы устройства и показаний оксиметра, опыт завершался, ёмкость-накопитель снималась, охлаждалась до температуры наружного воздуха и опыт повторялся. Всего в период с 16.08 по 03.09. 2024 г. было проведено 12 опытов при температуре наружного воздуха в среднем 24,0 – 24,8°С.

#### 4.3.2. Анализ результатов исследований по оценке эффективности работы аэратора

Рассматривая результаты по изучению закономерностей процесса поступления воздуха в воду при работе моделей устройства, как по продолжительности, так и по объему выходящего воздуха, и сравнивая их с данными исследований в Сирии, необходимо отметить отличительную особенность. В сравнении с результатами опытов в Сирии эффективность работы конструкции в условиях РФ оказалась значительно ниже, что на наш взгляд связано с различием климатических условий регионов.

Так, например, при температуре воздуха и практическом отсутствии ветра и облачности в Сирии, режим нагрева ёмкости-накопителя держался стабильно по несколько часов, что способствовало устойчивой работе устройства в течение более чем трех часов. Климатические условия тимирязевских прудов, как уже отмечалось, в период исследований отличались нестабильностью температур, связанных с облачностью и существенным влиянием ветра, даже при наличии на устройствах колпаков не позволила получить результаты близкие к данным, полученным в Сирии.

Результаты исследований в виде зависимостей объема воздуха, вышедшего в воду, от изменения наружной температуры при наличии и отсутствии защитного колпака приведены на рисунке 4.10.

Анализ приведенных результатов позволил выделить следующее:

- показатели работы устройства зависят от типоразмера конструкции и наличия защитного колпака, изменение наружной температуры в исследуемом диапазоне, в меньшей степени влияют на объем выходящего воздуха;
- применение защитного колпака позволяет увеличить температуру на поверхности ёмкости-накопителя в среднем на 20°C и объем выхода воздуха в придонные слои воды в среднем на 15 – 25%. При этом объем вышедшего воздуха, в зависимости от объема ёмкости-накопителя, может составлять от 0,115

до 0,217 исходного объема.

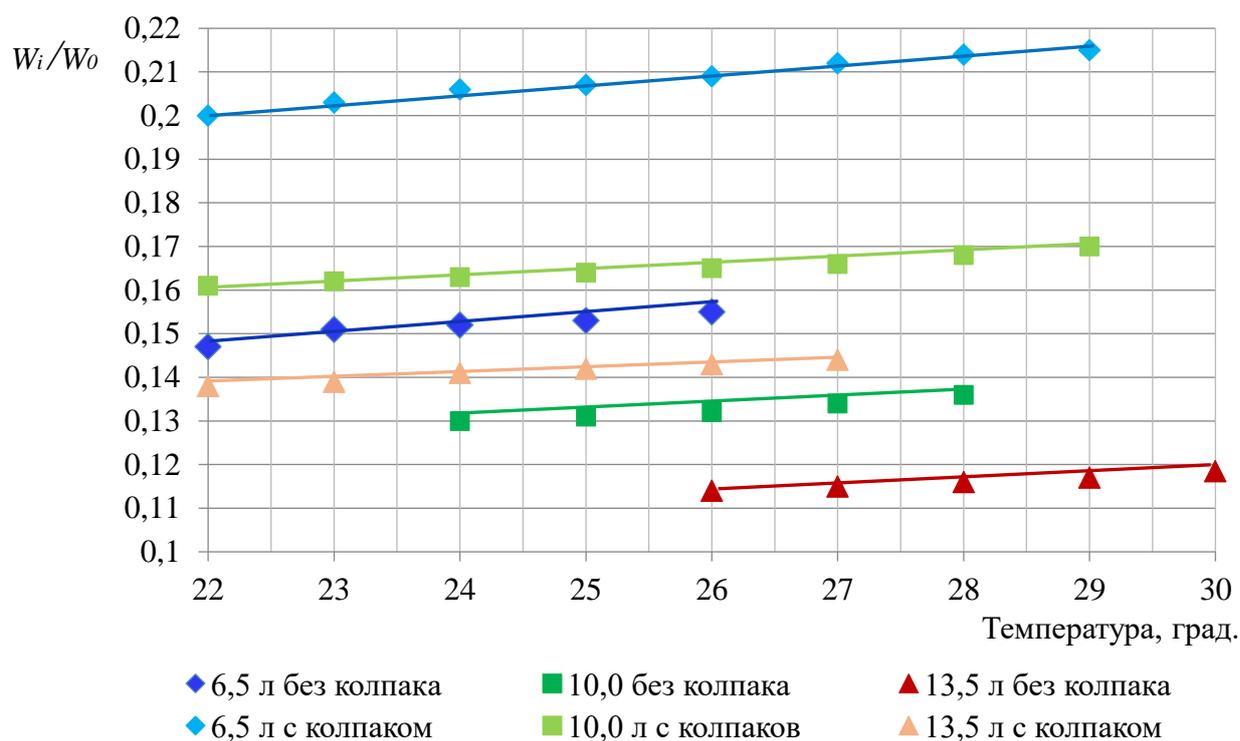


Рисунок 4.10 – Закономерности изменения объема вышедшего воздуха в воду в зависимости от температуры наружного воздуха при наличии и отсутствии защитного колпака

В целом результаты натурных экспериментов, выполненных на прудах, отражают показатели процесса выделения воздуха из ёмкости-накопителя устройства для аэрации придонных слоёв воды и соответствуют данным, полученным в условиях лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Анализ результатов исследований на прудах по оценке влияния работы устройства на концентрацию растворенного кислорода в придонных слоях воды показал на сопоставимость с материалами исследований в водохранилище 16 Тишрин в Сирии.

Динамика изменения концентрации РК в процессе работы устройства представлена в виде отношения концентрации РК в момент измерения или текущей  $RK_i$  к фоновой  $RK_0$ , зафиксированной на начало опыта, данные обработки результатов опытов приведены на рисунке 4.11.

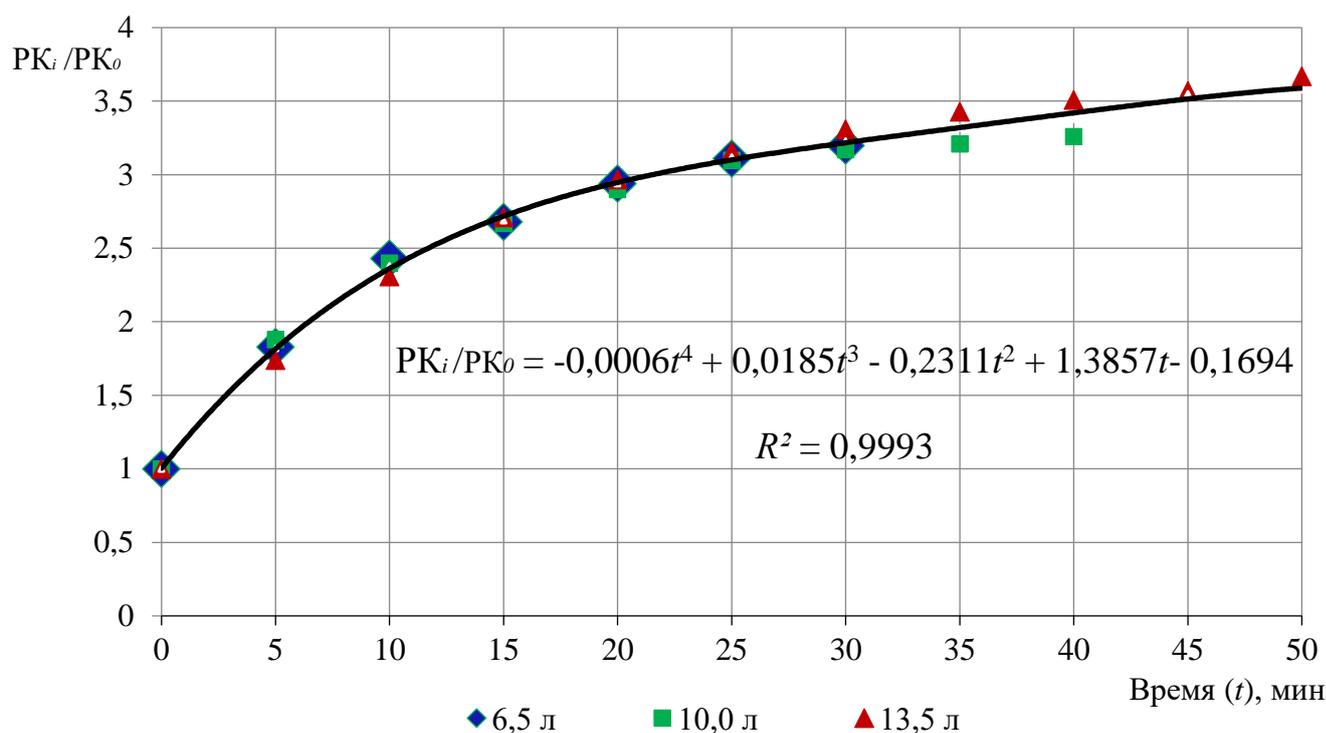


Рисунок 4.11 – Изменения концентрации РК в процессе работы устройства с разным объемом ёмкости-накопителя

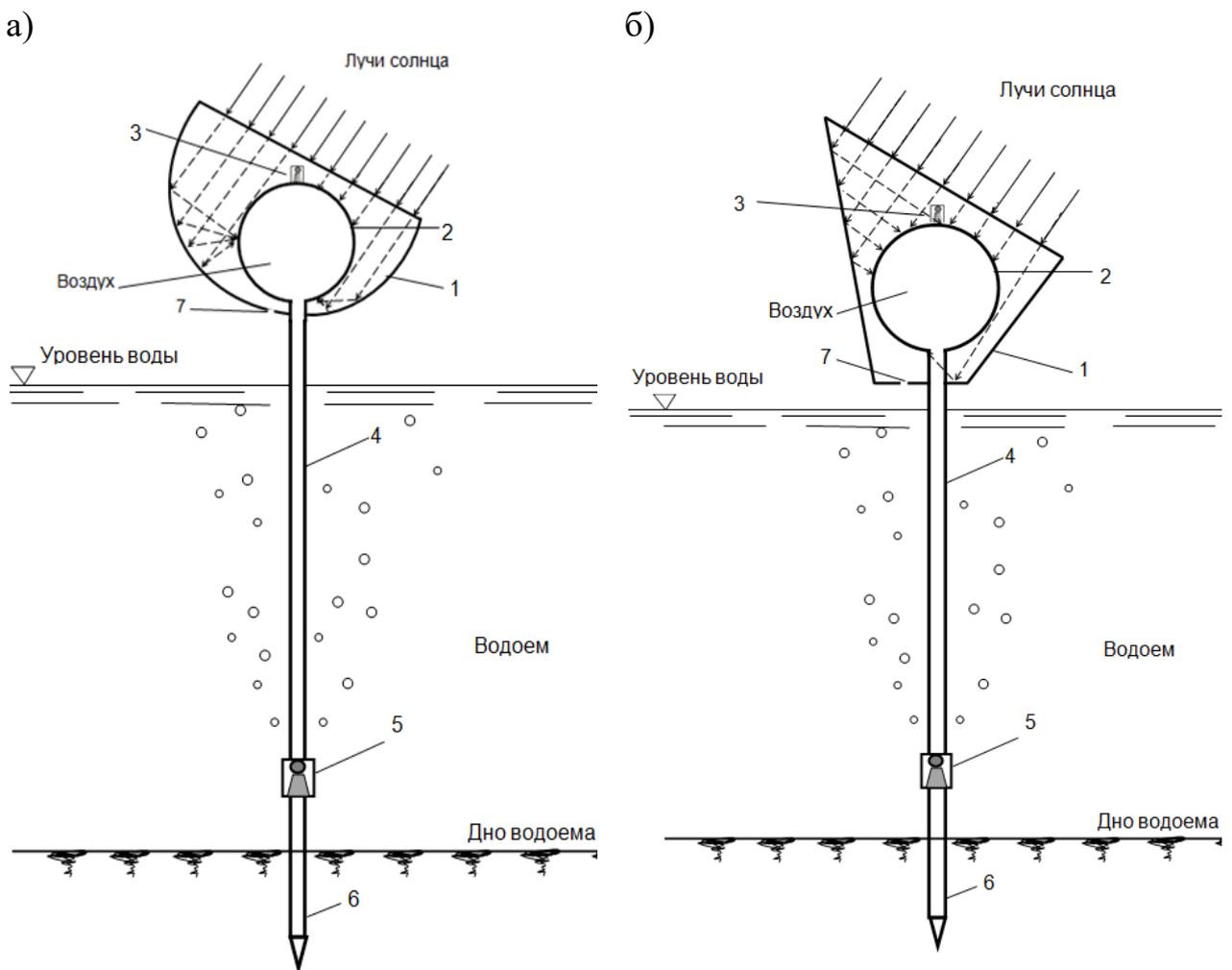
Приведенные результаты позволяют следующее заключение:

- закономерность насыщения воды РК не зависит от объема ёмкости-накопителя, что свидетельствует о стабильности изучаемого процесса, в тоже время продолжительность работы устройства напрямую зависит от объема;
- процесс работы устройства можно разделить на два основных периода: первый интенсивный (20 – 25 мин), когда содержание РК увеличивается вдвое, и второй затухающий, что также отражает процесс работы устройства;
- работа устройства за достаточно короткий период позволяет более чем в два раза повысить концентрацию растворенного кислорода в воде, свидетельствует о перспективности данной конструкции.

Вместе с тем сопоставление данных изменений количественных показателей РК, полученных на прудах и в водохранилище 16 Тишрин, где во втором случае (см. таблица 4.1) в процессе работы устройства концентрация РК увеличилась в среднем на 30%, можно объяснить более высоким фоновым значением концентрации в водохранилище (порядка 4,5 мг/л).

### 4.3.3 Оценка технического решения по результатам натуральных исследований и предложения по совершенствованию конструкции

Натурные исследования в условиях прудов показали необходимость снижения ветрового воздействия на поверхность ёмкости-накопителя, а также возможность повышения эффективности использования солнечной радиации за счет концентрации солнечных лучей на поверхности ёмкости-накопителя [81]. Такая конструкция устройства была разработана и защищена патентом на полезную модель в двух модификациях RU № 232337 и RU № 23238 [73, 74], представленных на рисунке 4.12.



- а – колпак-сфера по патенту на полезную модель RU № 232337;  
 б – колпак-конус по патенту на полезную модель RU № 232338;  
 1 – колпак; 2 – ёмкость-накопитель; 3 – впускной клапан; 4 – труба-воздуховод;  
 5 – клапан-распылитель; 6 – свайный наконечник; 7 – отверстие

Рисунок 4.12 – Устройства для аэрации придонных слоев воды:

Как и исходное устройство для аэрации придонных слоев воды, закрепляется в грунте дна водоёма, содержит колпак в виде сферического сегмента (рисунок 4.12, а) или перевернутого усеченного конуса (рисунок 4.12, б) с внутренней поверхностью из светоотражающего (фольгированного) материала. Впускной клапан расположен сверху ёмкости-накопителя, а для вывода воздуха в придонные слои воды служит вертикальная труба-воздуховод, на которой в нижних горизонтах водоёма размещен выпускной клапан-распылитель. Труба-воздуховод заканчивается свайным наконечником, который удерживает конструкцию над поверхностью воды. Для отведения атмосферных осадков, попадающих в пространство колпака в процессе использования устройства, предусмотрены отверстия в днище колпака.

Работает устройство для аэрации придонных слоев воды следующим образом.

В дневной период солнечные лучи, проникая через открытое верхнее пространство сферического сегмента, расположенное, для максимального приёма солнечного потока, открытой частью сферического сегмента в сторону солнца, попадают на его отражающую поверхность, вследствие отражения в сферическом зеркале концентрируются на поверхности ёмкости-накопителя, и наряду с прямыми солнечными лучами нагревают чёрную поверхность ёмкости-накопителя. Воздух в ёмкости-накопителе расширяется, создавая повышенное давление внутри, впускной клапан закрывается и перекрывает доступ атмосферного воздуха в полость ёмкости-накопителя. Из рабочей камеры воздух поступает в трубу-воздуховод и через выпускной клапан-распылитель выходит мелкими пузырьками в воду водоёма, насыщая её кислородом.

В первой конструкции со сферическим сегментом (рисунок 4.12, а), внутренняя поверхность которого выполнена светоотражающей, формируется внутреннее сферическое зеркало, обеспечивающее отражение солнечных лучей, проходящих через усеченную часть сферического сегмента.

В конструкции (рисунок 4.12, б) наличие колпака-конуса позволяет повысить интенсивность и объем аэрации воды за счёт концентрации прямых и

отраженных от светоотражающей поверхности колпака солнечных лучей, на поверхности ёмкости-накопителя и защиты от охлаждающего воздействия ветра.

Ёмкость-накопитель размещается над уровнем воды в водоёме и с помощью свайной опоры, закрепляется в грунт дна водоёма, тем самым обеспечивается устойчивость конструкции в рабочем состоянии, с учетом возможного силового воздействия ветра и волн.

#### 4.4. Оценка эффективности применения устройств для аэрации поверхностных вод на основе возобновляемых источников энергии

Для оценки эффективности использования устройств для улучшения качества поверхностных вод, работающих на основе использования солнечной радиации рассмотрим особенности исследуемых конструкций:

- разнообразие модификаций технических решений, простота проектирования, изготовления и эксплуатации устройств;
- независимость функционирования устройств любой модификации от внешних источников энергии в процессе улучшения качества поверхностных вод;
- недостатком конструкций является периодичность работы только в дневное время, зависимость от положения солнечного светила, а также наличия облачности.

Очевидно, что на настоящем этапе разработки конструкции, с учетом изложенного выше, практическое применение устройств, основанных на использовании возобновляемых источников энергии, следует рассматривать в комплексе с традиционными аэраторами с целью экономии энергоресурсов.

В качестве критерия при оценке показателей эффективности устройств для аэрации поверхностных вод, приняты энергетические затраты на подачу единицы объема кислорода в процессе аэрации, с этой целью были проанализированы работы по данной тематике [8, 42, 48, 78, 85]. На рисунке 4.13 приведены результаты сравнения показателей эффективности аэрации для подачи единицы объема кислорода ( $\text{кгO}_2/\text{кВт ч}$ ) для различных конструкций аэраторов.

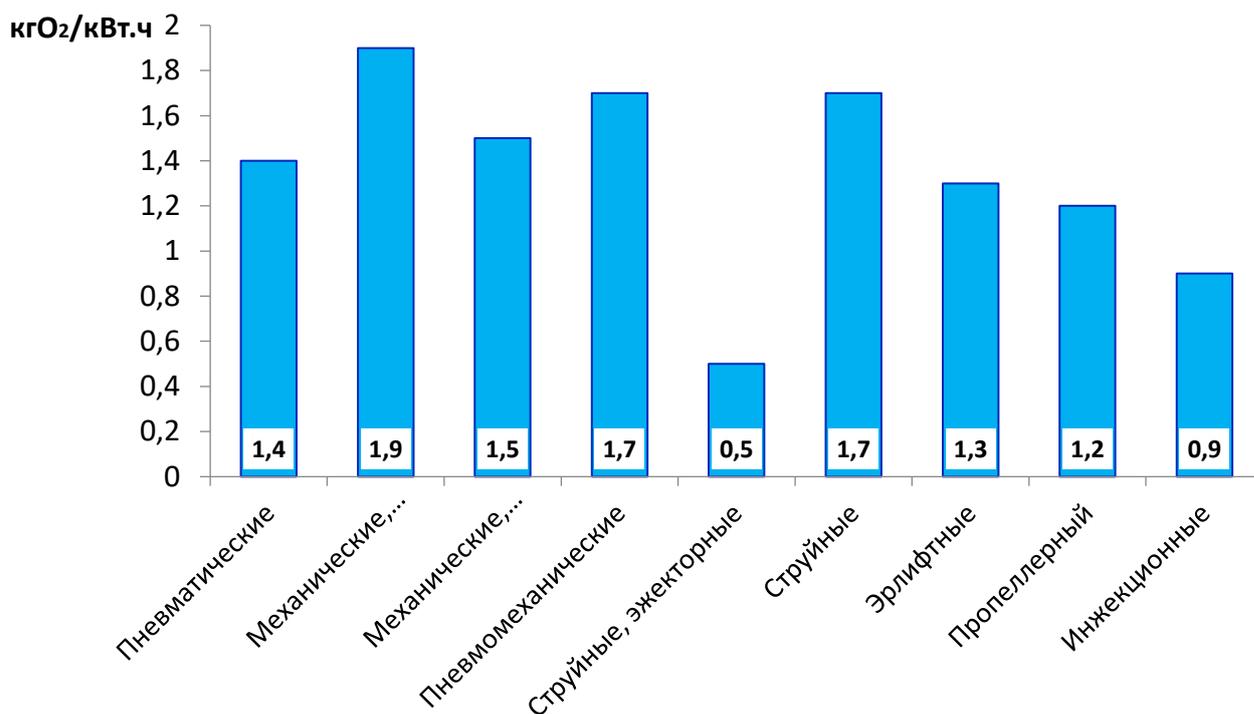


Рисунок 4.13 – Сравнение параметров эффективности различных аэраторов по удельным затратам электроэнергии на перенос кислорода

Как видно из данных графика, в зависимости от конструкции аэратора для подачи 1000 г кислорода, в среднем потребуется от 0,5 до 1,9 кВт за 1 час, таким образом, только за счет экономии электроэнергии, предлагаемые конструкции не требующие затрат энергии, оказываются экономичнее.

#### 4.5. Перспективы исследований устройств для улучшения качества природных слоев воды на основе использования солнечной энергии

Основные задачи дальнейших исследований устройств для улучшения качества придонных слоев воды связаны с необходимостью увеличения объема и продолжительности подачи воздуха в нижние горизонты водоёма, а также расширение зоны воздействия на водное пространство природного источника.

Для решения указанных задач рассмотрены возможности изменения механизма теплообмена в исследованном устройстве. Как известно, согласно закону Шарля, при постоянном объёме давление, создаваемое газом, прямо пропорционально его температуре, при равенстве температур воздуха снаружи и

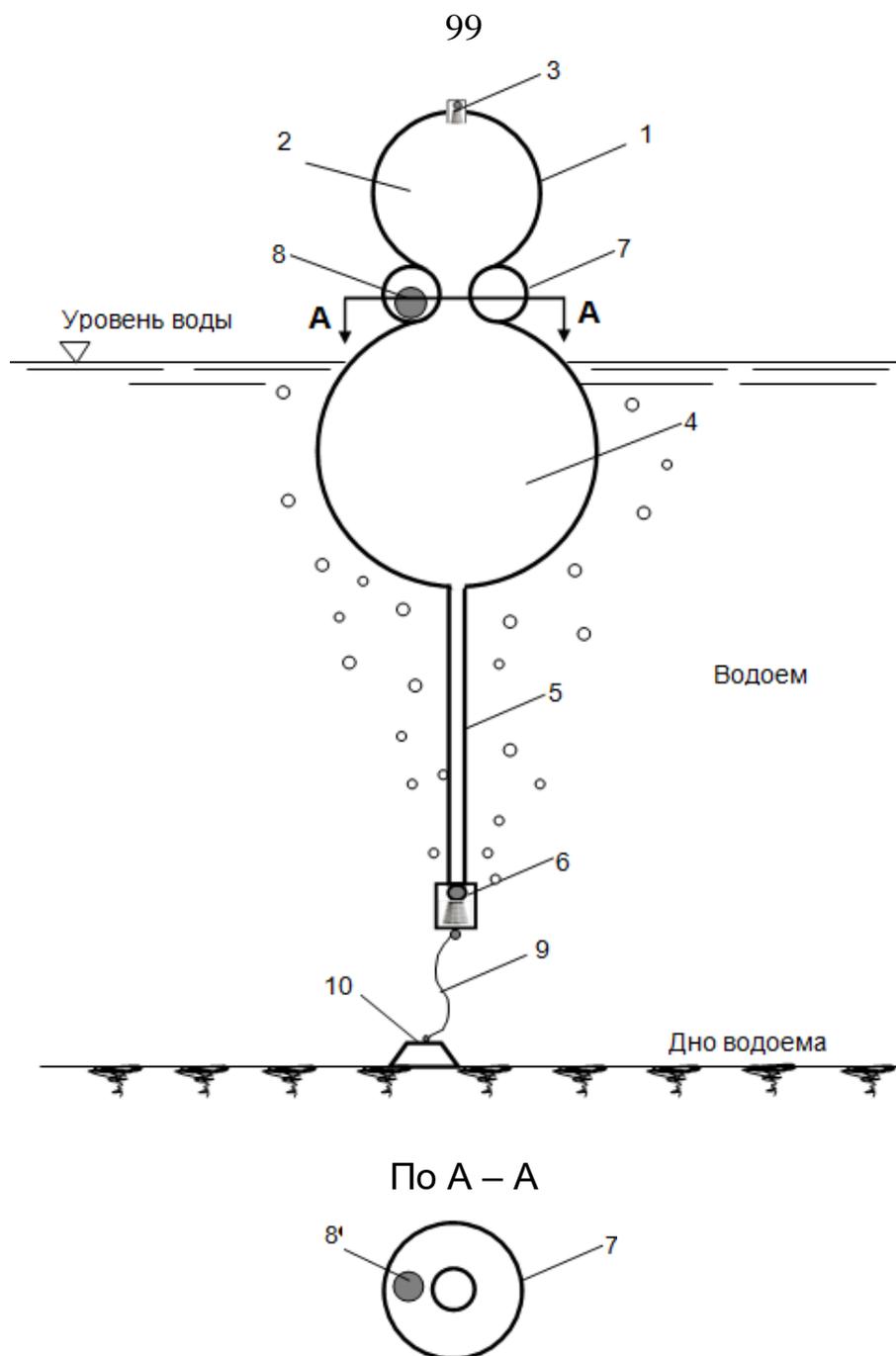
внутри камеры устройства, давление выравнивается, а процесс выдавливания воздуха останавливается. В этой связи рассмотрена возможность использования двухкамерных конструкций с различными условиями взаимодействия температур наружного воздуха и воздуха камер устройства.

В результате анализа результатов выполненных лабораторных и натурных исследований, предложены конструкции двухкамерных устройств для улучшения качества придонных слоев воды, защищенных патентами на полезные модели RU № 230435 и RU № 230436 [67, 68].

В устройстве для аэрации придонных слоев воды по патенту RU № 230436 (рисунок 4.14), включает емкость, состоящую из двух сообщающихся камер, установленных вертикально на одной оси, верхняя камера из легкого пластика установлена над уровнем воды и камерой поплавком из металла с центром тяжести ниже поверхности воды, в дне последней выполнено отверстие с выходом в трубу воздуховода, которая заканчивается выпускным клапаном, поверхность верхней камеры имеет черное покрытие с закрепленным в верхней части впускным клапаном, в межкамерном пространстве емкости закреплено торообразное кольцо с шаром-эксцентриком, а нижний конец трубы воздуховода с выпускным клапаном-распылителем закрепляется с помощью троса к якорю на дне водоёма.

Устройство для аэрации придонных слоев воды размещается наплаву, удерживается с помощью троса, закрепленного к якорю на дне водоема, и работает следующим образом.

В дневной период солнечные лучи нагревают двухкамерную ёмкость попадая на чёрную поверхность верхней камеры, воздух расширяется, создавая повышенное давление внутри двухкамерной ёмкости, впускной клапан перекрывает доступ атмосферного воздуха в полость верхней камеры, из которой воздух поступает в нижнюю камеру, обеспечивающую, как поплавок, устойчивость двухкамерной емкости, и далее по трубе воздуховода через выпускной клапан-распылитель выходит мелкими пузырьками в воду водоёма, обогащая её кислородом.



1 – двухкамерная ёмкость; 2 – верхняя камера; 3 – впускной клапан;  
 4 – нижняя камера; 5 – труба воздуховода; 6 – выпускной клапан-распылитель;  
 7 – торообразное кольцо; 8 – шар-эксцентрик; 9 – трос; 10 – якорь

Рисунок 4.14 – Устройство для аэрации придонных слоев воды  
 (патент на полезную модель RU № 230436):

В процессе работы наличие нижней камеры, выполненной из металла с центром тяжести ниже поверхности воды, расположенной ниже уровня воды в водоеме и имеющей температуру содержащего воздуха ниже температуры наружного воздуха, создает градиент температур в двухкамерной емкости, и холодный воздух из нижней камеры поступает в полость верхней камеры, при

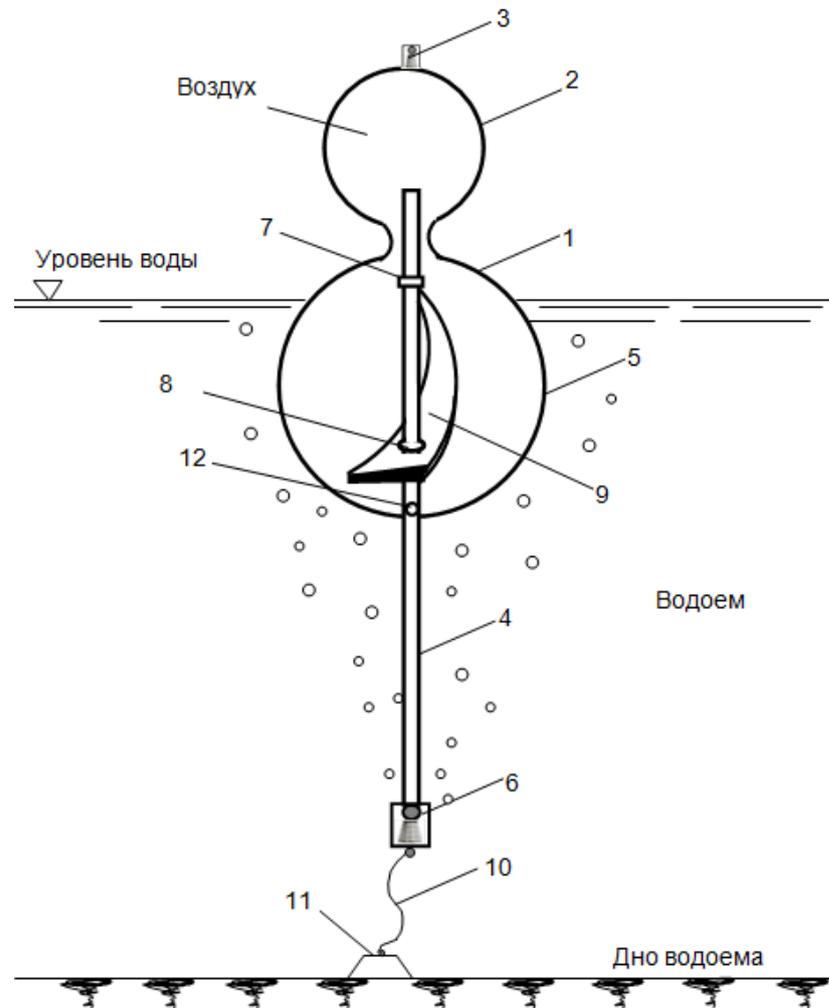
этом эффект поступления воздуха увеличивается за счет колебания устройства для аэрации воды придонных слоев водоема от волн в водоеме и перемещения, размещенного в торообразном кольце шара-эксцентрика, а также свободного крепления водовыпускной трубы с выпускным клапаном-распылителем тросом к якорю на дне водоема.

В ночной период воздух в двухкамерной ёмкости охлаждается, давление в полости снижается ниже атмосферного, выпускной клапан-распылитель закрывается, при этом открывается впускной клапан и атмосферный воздух заполняет полость двухкамерной ёмкости. В дневной период выдавливание воды из трубы воздуховода автоматически повторяется.

В устройстве для аэрации придонных слоев воды по патенту RU № 230435 (рисунок 4.15), включает емкость, состоящую из двух сообщающихся камер, установленных вертикально на одной оси. Как и у предыдущего устройства верхняя и нижняя камеры имеют одинаковую конструкцию. Труба воздуховода размещена вертикально в полости двухкамерной ёмкости, конец которой размещен в верхней камере, а нижний с выпускным клапаном-распылителем на выходе погружен в придонный слой водоема. При этом на трубе воздуховоде смонтирована с возможностью свободного вращения в полости нижней камеры лопасть-эксцентрик, а на уровне дна нижней камеры на трубе воздуховоде выполнены сливные отверстия.

Лопасть-эксцентрик, выполнена в форме логарифмической спирали, закреплена на подшипниках на трубе воздуховода, а сливные отверстия служат для выхода конденсата в процессе работы устройства, нижний конец трубы воздуховода с выпускным клапаном-распылителем закреплён с помощью троса к якорю на дне водоёма.

Работа устройства по патенту RU № 230435 аналогична работе предыдущей конструкции и отличается только механизмом формирования колебаний устройства при вращении лопасти-эксцентрика.



- 1 – двухкамерная ёмкость; 2 – верхняя камера; 3 – впускной клапан;  
 4 – труба воздуховода; 5 – нижняя камера; 6 – выпускной клапан-распылитель;  
 7, 8 – подшипники; 9 – лопасть-эксцентрик; 10 – трос; 11 – якорь; 12 –

Рисунок 4.15 – Устройство для аэрации придонных слоев воды  
 (патент на полезную модель RU № 230435):

Таким образом, наличие нижней камеры, в рассмотренных конструкциях, выполненной из металла с центром тяжести ниже поверхности воды, расположенной ниже уровня воды в водоеме и имеющей температуру содержимого воздуха ниже температуры наружного воздуха, создает градиент температур в двухкамерной емкости, и холодный воздух из нижней камеры поступает в полость верхней камеры. При этом эффект поступления воздуха увеличивается за счет колебаний устройства на волнах водоема и наличия элементов-эксцентриков, способствующих постоянным колебаниям конструкции.

Предложенные технические решения позволяют увеличить интенсивность и объем аэрации воды за счёт активизации в двухкамерной полости процесса

теплопереноса при колебании элементов-эксцентриков и воздействии солнечной радиации.

Свободное крепление воздуховыпускной трубы с выпускным клапаном-распылителем, присоединенному с помощью троса к якорю на дне водоема, увеличивает зону воздействия устройства на водное пространство природного источника.

Задачами исследований предложенных конструкций являются:

- установление закономерностей изменения температурного режима камер во времени;
- оптимизация параметров устройств в зависимости от технологических условий использования;
- разработка рекомендаций по проектированию и требований по эксплуатации устройств для улучшения качества придонных слоев воды.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Для оценки воздействия работы устройства для аэрации придонных слоев воды на физико-химические показатели качества воды проведены натурные исследования в климатических условиях водохранилища 16 Тишрин в Сирии, которые показали, что при объеме 10,0 литров, время работы составило 180 минут, в течение которых повышение концентрации растворенного кислорода в воде в зоне взятия проб составило более 40 %, снижение температуры воды на 1–2°C, снижение концентрации *БПК* на 35%; а также произошло уменьшение мутности и изменение водородного показателя (*pH*).

2. Натурные исследования в условиях прудов лаборатории прудового рыбоводства в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева позволили установить закономерность влияния ветрового воздействия на эффективность работы устройства, что вызвало необходимость установки специального защитного колпака, применение которого позволило увеличить на 15 – 25% объем выхода воздуха в придонные слои воды и более чем в два раза, повысить концентрацию растворенного кислорода в воде.

3. По результатам натурных исследований на прудах Тимирязевской академии разработаны и защищены патентами на полезную модель устройства для аэрации придонных слоев воды (RU № 232337; RU № 232338), с функцией снижения ветрового воздействия и повышения эффективности использования солнечной радиации за счет концентрации солнечных лучей на поверхности ёмкости-накопителя.

4. Дана оценка достоинств, недостатков и эффективности применения устройств для улучшения качества поверхностных вод, работающих на основе использования энергии солнечной радиации.

5. В результате проведенных исследований, предложены и защищены патентами на полезную модель (RU № 230435 и RU № 230436) конструкции двухкамерных устройств, позволяющих увеличить объем подаваемого в водоём воздуха за счёт использования градиента температур, создаваемого солнечной энергией, а также увеличения зоны аэрации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ литературных источников, материалов по оценке качества поверхностных вод, показывает, что сектор водных ресурсов Сирийской Арабской Республики характеризуется дефицитом воды, возрастающим в связи с изменением климата, низким уровнем управления водными ресурсами и прекращением работы водоочистных сооружений из-за разрушений объектов энергообеспечения в условиях экономического кризиса в стране, возникшего в результате войны. Оценка водно-физических и гидрохимических свойств водохранилищ 16 Тишрин, Аль-Музайна и Музейриб, указывает на необходимость разработки технологий для улучшения качества поверхностных вод на основе возобновляемых источников энергии.

2. Современные систем аэрации водоёмов на основе возобновляемых источников энергии базируются, на принципах преобразования возобновляемой энергии в электрическую, аккумулярованием и подачей на силовые установки компрессоров, в работе предложены и защищены патентами на полезную модель устройства для аэрации придонных слоев воды RU № 212935, RU № 214200 и RU № 210274, основанные на преобразовании солнечной или ветровой энергии, в процесс прямой подачи воздух в водную среду. Для дальнейших исследований принята конструкция на основе патента RU № 214200, разработан экспериментальный образец аэратора.

3. По результатам теоретических исследований, используя уравнение состояния для термодинамической системы ёмкости-накопителя с учетом гидродинамических условий работы устройства, получена зависимость для определения объёма ёмкости-накопителя, необходимого для устранения дефицита кислорода в воде водоёма в соответствии с назначением водного объекта.

4. Результаты лабораторные исследования экспериментального образца в естественных условиях Сирии и в термокамере лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показали, на возможность устойчивой работу конструкции в течение более чем 120 минут в

условиях Сирии и до 50 минут в термокамере, при этом объем подаваемого воздуха может достигать от 12,3 до 60% от рабочего объема устройства.

5. Для оценки воздействия устройства на физико-химические показатели качества воды проведены натурные исследования в климатических условиях водохранилища 16 Тишрин в Сирии, которые показали, повышение концентрации растворенного кислорода в воде в зоне взятия проб составило порядка 30 %, снижение температуры воды на 1–2°C, снижением концентрации *БПК* на 35%; а также произошло уменьшение мутности и изменение водородного показателя (*pH*).

6. Натурные исследования в условиях прудов лаборатории прудового рыбоводства в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева позволили установить закономерность влияния ветрового воздействия на эффективность работы устройства, что вызвало необходимость установки специального защитного колпака, применение которого позволило увеличить на 15 – 25% объем выхода воздуха в придонные слои воды и более чем в два раза, повысить концентрацию растворенного кислорода в воде. По результатам разработаны и защищены патентами на полезную модель устройства для аэрации придонных слоев воды (RU № 232337; RU № 23238), с функцией снижения ветрового воздействия и повышения эффективности использования солнечной радиации за счет концентрации солнечных лучей на поверхности ёмкости-накопителя, а также патентами на полезную модель (RU № 230435 и RU № 230436) конструкции двухкамерных устройств, позволяющих увеличить объем подаваемого в водоём воздуха за счёт использования градиента температур, создаваемого солнечной энергией, а также увеличения зоны аэрации.

## РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные задачи дальнейших исследований устройств для улучшения качества придонных слоев воды связаны, во-первых, с необходимостью повышения продолжительности работы устройства с периодическим

пополнением ёмкости в течение всего светового дня, во-вторых, с увеличения объема подачи воздуха в нижние горизонты водоёма, и, в-третьих, с расширение зоны воздействия устройства в водном пространстве природного источника.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство № 912679 А1 СССР, МПК С02F 3/14, С02F 7/00. Устройство для поверхностного аэрирования водоемов: № 2956213: заявл. 15.07.1980: опубл. 15.03.1982 / В. И. Филатов, В. З. Гаврильченко, Л. Н. Смирнов, А. А. Резник.
2. Авторское свидетельство на изобретение № 1370092 А1 СССР, МПК С02F 3/14. Аэратор: № 4112856/31-26: заявл. 27.08.86: опубл. 30.01.88. Бюл. №4 / А.В. Куралесин, В.Е. Тройнин, В.И. Уметский и Ю.А. Павлов.
3. Авторское свидетельство на изобретение № 1576499 А1 СССР, МПК С02F 7/00, С02F 3/14, С02F 103/02. Устройство для аэрирования водоемов: № 4471169: заявл. 05.08.1988: опубл. 07.07.1990 / Б. Н. Репин, М. В. Королева, Г. М. Мирончик.
4. Авторское свидетельство на изобретение № 334186 А1 СССР, МПК С02F 7/00, С02F 101/00, С02F 103/00. Устройство для аэрирования водоемов: № 1477655/23-26: заявл. 21.09.1970: опубл. 30.03.1972 / Я. А. Карелин, Б. Н. Репин. 1,73
5. Авторское свидетельство на изобретение № 998389 А1 СССР, МПК С02F 3/20. Аэратор: № 3325828/23-26: заявл. 31.07.83: опубл. 23.02.83. Бюл. № 7 / Ю.Ф. Новиков, А.П. Курилов, А.И. Сорокин, А.А. Ляшенко и В.М. Федотов.
6. Айдаров И. П. Комплексное обустройство территорий – дальнейший этап мелиорации земель / И. П. Айдаров, А.И. Голованов, В.В. Шабанов // В сб. Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. Том I Материалы юбилейной международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). Москва, 2007. – С 34-51.
7. Алиев И.Х. Промышленные и альтернативные аэраторы на основе зелёной энергетики для рыбных водоёмов и озёр: Монография / И.Х. Алиев, Ш.Б. Каримов, Б.Х. Каримов, Д.К. Юлдошалиев. – [б. м.]: Издательские решения, 2023. – 221 с.
8. Баженов В.И. Энергосбережение как критерий выбора аэратора / В.И. Баженов, А.Н. Эпов // НДТ. – 2012. Спецвыпуск. С. 2 – 17.
9. Баженов В.И. Обработка осадка сточных вод в аэробном стабилизаторе с периодической аэрацией / В.И. Баженов, Ф.И. Лобанов, В.А. Шкаредо // Естественные и технические науки. – 2012. № 2 (201). – С. 192 – 202.
10. Белова Е. А. Оценка качества родниковых вод в г. Гродно по физико-химическим и микробиологическим показателям / Е. А. Белова, И. М. Колесник, К. Пучко // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 104-117. – EDN JTSPMT.
11. Брагинский Л. Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л. Н. Брагинский, М. А. Евилевич, В. И. Бегачев и др. // Л.:

Химия, 1980. – 144 с.

12. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. М.: Наука, 1988. – 168 с.

13. Викулина В.Б. Теоретические исследования движения пузырьков воздуха в потоке воды при аэрации / В.Б. Викулина, Л.В. Инешина // Сантехника, отопление, кондиционирование 2019. – № 10. – С. 22-24.

14. Виссарионов В. И. Применение плавучих аэрационных установок с питанием от солнечных батарей для очистки водоемов / В.И. Виссарионов, С.А. Лазарев-Марченко, Д.Н. Кунакин // Гидротехническое строительство: ежемесячный научно-технический журнал, Министерство энергетики РФ; РАО "ЕЭС России". Москва, 2007. – №12. – С. 15-21: ил. ISSN 0016-9714.

15. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгин, В.А. Кузнецов, Н.К. Малинин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.

16. Виссарионов В.И. Плавучие аэрационные установки с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей для очистки водоемов / В.И. Виссарионов, С.А. Лазарев-Марченко // Стройпрофиль №2-2005. – С.64-66.

17. Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития: учебное пособие / Е.И. Голубева, С.В. Киселёва, Н.И. Чернова, Ю.Ю. Рафикова и др.; под общей ред. Е.И. Голубевой и С.В. Киселёвой. – М.: Издательство «Наука», 2021. – 248 с.: табл., ил. – ISBN 978-5-907279-40-7.

18. Голубева Е.И. Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития: учебное пособие / Е.И. Голубева, С.В. Киселёва, Н.И. Чернова, Ю.Ю. Рафикова и др. – М.: Издательство «Наука», 2021. – 248 с.: табл., ил. – ISBN 978-5-907279-40-7.

19. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. Москва: Стандартинформ. 2019. – 32 с.

20. ГОСТ Р 58556–2019 Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200044750> (дата обращения: 05.01. 2024).

21. Гришин Б.М. Разработка и исследование новых конструкций эжекторов для очистки сточных вод с применением аэрации: моногр. / Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, А.М. Исаева, М.В. Бikuнова, М.А. Сафронов. Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.

22. Двинских С. А. Факторы формирования и элементы химического состава поверхностных вод [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / С. А. Двинских // Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 1,42 Мб. – 77 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/dvinskikh-factory-formirovaniya-i-elementy-xim-sostava-poverxnostnyx-vod.pdf>.

23. Дрововозова Т. И. Анализ методов оценки качества донных отложений / Т.И. Дрововозова, Л.А. Булгакова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2023. – Т. 91, № 3. – С. 369–377.

24. Емельянова В. П. К вопросу развития технологий оценки степени загрязненности водных объектов на основе показателей комплексности

загрязнения / В. П. Емельянова, Н. Н. Оленникова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 6. – С. 6-20. – DOI 10.35567/19994508\_2023\_6\_1. – EDN QROKXO.

25. Ерина О.Н. Режим растворенного кислорода в стратифицированных водохранилищах Москворецкой системы водоснабжения г. Москвы. / О.Н. Ерина Автореф. ... канд. географ. наук. г. Москва. 2015 – 25 с.

26. Ермаченко П. А. Восстановление естественной способности водоемов к самоочищению / П. А. Ермаченко, Д. С. Середин, Н. А. Зверева [и др.] // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2021. – № 6. – С. 30-35. – EDN TNGQUS.

27. Зиновьев А. Т. Анализ результатов моделирования и натурных данных содержания растворенного кислорода в Телецком озере / А. Т. Зиновьев, К. Б. Кошелев, А. В. Дьяченко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 6. – С. 57-69. – DOI 10.35567/19994508\_2023\_6\_5. – EDN AJZWZQ.

28. Иванова А. В. Оценка качества вод малых рек Нижневартковского района / А. В. Иванова, Д. А. Алагулов, В. Б. Иванов // International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences. – 2021. – № 1. – С. 45-55. – EDN USHZUM.

29. Избаш М. Ю. Внедрение инновационной системы аэрации для снижения эксплуатационных затрат и повышения эффективности биологической очистки сточных вод / М. Ю. Избаш, С. В. Лунин, Е. А. Янчак // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура, 2014. – С. 118-121.

30. Исмаил, Х. Исследования устройства для аэрации придонных слоев воды с использованием климатического тепла / Х. Исмаил // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 41-45.

31. Исмаил, Х. Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии / Х. Исмаил, М. С. Али, П. А. Михеев // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 128-138. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138.

32. Исмаил Х. Натурные исследования устройства для аэрации воды водохранилища «16 Тишрин» в Сирии / Х. Исмаил, П.А. Михеев // Природообустройство. 2024. – № 5. – С. 104-109. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-104-109>.

33. Исмаил Х. Об устройстве для аэрации придонных слоев воды в условиях Сирии / Х. Исмаил // Наука и глобальные вызовы: перспективы развития: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – Саратов: НОП «Цифровая наука». – 2024. – С. 17–22.

34. Исмаил Х. Особенности гидрохимического режима водохранилищ западных провинций Сирии / Х. Исмаил, П.А. Михеев // Мелиорация и водное хозяйство, 2024. – № 2 – С. 8-12.

35. Исмаил, Х. А. А. Удаление железа в воде при помощи аэрации / Х. А.

А. Исмаил, Э. Е. Назаркин, Д. А. Беда // Естественные и технические науки. – 2020. – № 12(150). – С. 245-247. – EDN YJRTLГ.

36. Караичев И.Е. Совершенствование методов расчета аэрации водных объектов. Дисс. канд. техн. наук. / И.Е. Караичев // ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» М.: 2019. – 125 с.

37. Карелин Я. А. Очистка производственных сточных вод в аэротенках / Я. А. Карелин, Д. Д. Жуков, В. Н. Журов, Б. Н. Репин. – М.: Стройиздат, 1973. – 223 с.

38. Кизяев Б.М. Водообеспеченность Российской Федерации в условиях глобального потепления климата/ Б.М. Кизяев, С.Д. Исаева //Вестник Российской академии наук. 2016 Т. 86 № 10 С. 909-914.

39. Кизяев Б. М. Режимы комплексных мелиорации земель (рекомендации) / Б.М. Кизяев, Л.В. Кирейчева, В.П. Максименко [и др.]; под ред. Б.М. Кизяева. - М.: РАСХН, 2000. – 63 с.

40. Китаев А.Б. Содержание растворенного кислорода в водах Воткинского водохранилища в различные периоды его эксплуатации / А.Б. Китаев, А. А. Батальцева // Современные проблемы науки и образования. Матер. между. науч. конф. Том XX. Москва, Пенза, Изд.: Издательский Дом "Академия Естествознания". – 2020. – С. 39-40.

41. Комплексные мелиорации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. Материалы юбилейной международной научной конференции. – М.: Изд. ВНИИА, 2014.- с. 454.

42. Коновалов Ю.В. Расчет инсоляции солнечной фотоэлектрической электростанции с учетом геолокационных и погодных параметров / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // iPolytech Journal. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 439–450. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-3-439-450>.

43. Кригер Е. Д. Биохимическое потребление кислорода и окисляемость вод для промышленного использования / Е. Д. Кригер // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: Сборник научных трудов по результатам работы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Вологда-Молочное, 20 апреля 2023 года. Том 3. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2023. – С. 114-118. – EDN SVUWHR.

44. Кутявина Т. И. Оценка качества поверхностных вод по водородному показателю и содержанию растворенного в воде кислорода / Т. И. Кутявина, Т. Я. Ашихмина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Материалы XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Киров, 18 мая 2020 года. Том Книга 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2020. – С. 150-153. – EDN ZGWZLO.

45. Лазарев-Марченко С. А. Мобильная аэрационная установка с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей / С.А. Лазарев-Марченко, В.И. Виссарионов // Энергосбережение и водоподготовка: научно-технический журнал / Академия промышленной экологии. Москва. 2007. – №3(47). – С. 64-66: ил. ISSN 1992-4658.

46. Максименко В.П. Комплексная мелиорация почв на орошаемых землях / В. П. Максименко // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 1. – С. 38 – 40.
47. Медведева Г.А. Разработка методов и средств использования возобновляемых источников энергии / Г. А. Медведева, З. Р. Хазипова // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 244–248.
48. Мешенгиссер Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод. / Мешенгиссер Ю. М. Автореф. дис. ...докт. техн. наук М. – 2005. – 48 с.
49. Мирненко Э. И. Экологическое состояние прудов г. Донецка по содержанию органического вещества / Э. И. Мирненко, А. О. Макуха // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2021. – № 1-2. – С. 17-22. – EDN SIGAXK.
50. Михеев П. А. О возможностях подготовки питьевой воды из поверхностных источников Сирии / П. А. Михеев, Х. Ш. Саббух, Х. А. А. Исмаил // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 93-101. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101. – EDN OHCMZB.
51. Михеев П.А. Лабораторные исследования устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях термокамеры / П.А. Михеев, Х. Исмаил // Мелиорация и водное хозяйство, 2025, № 3 – с. 7-10. DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-7-10.
52. Михеев П.А., Исмаил Х. Оценка работы аэратора на солнечной энергии в условиях рыбоводных прудов Тимирязевской академии // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 17–28. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-17-28>.
53. Мохова О. Н. Гидрохимические показатели в оценке экологического состояния вод озера Лача / О. Н. Мохова, А. К. Козьмин, Р. А. Мельник, А. С. Самодов // Экологическая химия. – 2020. – Т. 29, № 3. – С. 153-158. – EDN KAFIAV.
54. Назаркин, Э. Е. Уменьшение концентрации железа в воде при помощи аэрации / Э. Е. Назаркин, Х. А. А. Исмаил // Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы: материалы I Всероссийской (национальной) конференции, Омск, 26 мая 2021 года. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2021. – С. 213-216.
55. Патент № 2334686 С2 Российская Федерация, МПК С02F 3/16. аэратор: № 2006132415/15: заявл. 08.09.2006: опубл. 27.09.2008 / Ю. М. Мешенгиссер, Р. А. Галич, О. В. Илюхин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ЭКОПОЛИМЕР" (ООО "ЭКОПОЛИМЕР"). – EDN BUGKXW.
56. Патент № 2096953 С1 Российская Федерация, МПК А01К 63/04. Ветровое устройство для нагнетания воздуха в водное пространство: № 96111635/13: заявл. 07.06.1996: опубл. 27.11.1997 / А. И. Рудич, П. Ф. Воронков. – EDN OHOUWP.
57. Патент № 2451642 С9 Российская Федерация, МПК С02F 3/20, В01F 3/04. мембрана аэратора: № 2010150185/05: заявл. 07.12.2010: опубл. 27.05.2012 / Ю. М. Мешенгиссер, Ю. В. Колесник, Н. С. Смирнов; заявитель Научно-

производственная фирма с ограниченной ответственностью "Экополимер". – EDN ZGJFMT.

58. Патент № 2220917 С1 Российская Федерация, МПК С02F 3/20, С02F 101/00, С02F 103/04. система аэрации: № 2002112451/15: заявл. 14.05.2002: опубл. 10.01.2004 / В. К. Михайлов, А. С. Минабутдинов, А. В. Михайлов [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие Патфил".

59. Патент № 2478583 С1 Российская Федерация, МПК С02F 7/00. Способ аэрации водоемов и устройство для его осуществления: № 2011139275/05: заявл. 26.09.2011: опубл. 10.04.2013 / П. А. Таран. – EDN PLIQGK.

60. Патент № 2507162 С1 Российская Федерация, МПК С02F 7/00. Способ аэрации воды и устройство для его осуществления: № 2012135940/05: заявл. 21.08.2012: опубл. 20.02.2014 / А. П. Таран, П. А. Таран, Е. А. Шестакова, Ю. Н. Шестакова. – EDN IDPHNR.

61. Патент № 2247081 С2 Российская Федерация, МПК С02F 7/00, С25В 1/04. способ насыщения воды кислородом и установка для его осуществления: № 2001134666/15: заявл. 24.12.2001: опубл. 27.02.2005 / Е. Д. Зыков, Т. Н. Зыкова; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Оргсин-Инвест". – EDN VFUCEN.

62. Патент № 2790135 С1 Российская Федерация, МПК Е02В 15/02, С02F 7/00. Устройство для аэрации водоема: № 2022119812: заявл. 18.07.2022: опубл. 14.02.2023 / А. Е. Пашинин, С. Н. Дегтярь. – EDN RSKUJN.

63. Патент № 2372298 С1 Российская Федерация, МПК С02F 7/00. Устройство для аэрации водоемов: № 2008128791/15: заявл. 14.07.2008: опубл. 10.11.2009 / Д. Д. Иосселиани, А. К. Калантаров, О. К. Калантаров, В. Д. Калантаров; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственный научный центр Российской Федерации Институт теоретической и экспериментальной физики". – EDN VGVPRD.

64. Патент на полезную модель № 191303 U1 Российская Федерация, МПК С02F 7/00, С02F 1/74, С02F 3/34. устройство для аэрации воды: № 2019109521: заявл. 01.04.2019: опубл. 01.08.2019 / В. И. Курдюмов, А. А. Павлушин, Е. В. Спирина, В. А. Конарев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина". – EDN YFHONA.

65. Патент на полезную модель № 147539 U1 Российская Федерация, МПК С02F 7/00. Солнечная мобильная аэрационная система: № 2014108251/05: заявл. 04.03.2014: опубл. 10.11.2014 / Н. Н. Крамчанинов, Т. Г. Болотских, С. М. Лутовинов [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет". – EDN SPOGZI.

66. Патент № 2790135 С1 Российская Федерация, МПК Е02В 15/02, С02F 7/00. Устройство для аэрации водоема: № 2022119812: заявл. 18.07.2022: опубл. 14.02.2023 / А. Е. Пашинин, С. Н. Дегтярь. – EDN RSKUJN.

67. Патент на полезную модель № 230435 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2024119201: заявл. 09.07.2024: опубл. 03.12.2024 / П. А. Михеев, Н. А. Коноплин, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN ZNQXRJ.

68. Патент на полезную модель № 230436 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2024119200: заявл. 09.07.2024: опубл. 03.12.2024 / П. А. Михеев, Х. Исмаил, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN RUGXWN.

69. Патент на полезную модель № 52848 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. солнечная аэрационная система: № 2005137198/22: заявл. 30.11.2005: опубл. 27.04.2006 / В. И. Виссарионов, Д. Н. Кунакин; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский энергетический институт (технический университет)" (ГОУВПО "МЭИ "). – EDN SBNWXK.

70. Патент на полезную модель № 147800 U1 Российская Федерация, МПК B01F 3/04. аэратор: № 2014121875/05: заявл. 29.05.2014: опубл. 20.11.2014 / Ю. М. Мешенгиссер. – EDN WBAХІВ.

71. Патент на полезную модель № 212935 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2022112385: заявл. 06.05.2022: опубл. 12.08.2022 / Х. Исмаил, П. А. Михеев, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN PLPPKO.

72. Патент на полезную модель № 214200 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 23/231. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2022112382: заявл. 06.05.2022: опубл. 14.10.2022 / Х. Исмаил, П. А. Михеев, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN GSPJDW.

73. Патент на полезную модель № 232337 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: заявл. 02.10.2024: опубл. 07.03.2025 / П. А. Михеев, Х. Исмаил, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN TXSVIE.

74. Патент на полезную модель № 232338 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: заявл. 02.10.2024: опубл. 07.03.2025 / П. А. Михеев, Х. Исмаил, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN SERLBW.

75. Патент на полезную модель № 218055 U1 Российская Федерация, МПК В01F 23/20, В01F 27/80, С02F 7/00. Устройство для насыщения воды кислородом: № 2023102883: заявл. 09.02.2023: опубл. 04.05.2023 / Н. М. Белковский. – EDN MXFNIO.

76. Патент на полезную модель № 210274 U1 Российская Федерация, МПК E02B 15/00, С02F 1/34. Устройство для очистки водоемов от водорослей: № 2021132822: заявл. 11.11.2021: опубл. 05.04.2022 / В. В. Петрашкевич, П. А. Михеев, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN EAFZMF.

77. Подоплелов Е.В. Моделирование динамики газовых пузырьков в жидкостях / Е.В. Подоплелов, И.А. Семенов, Б.А. Ульянов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. № 3 (39). – с. 126–129.

78. Помогаева В. В. Повышение эффективности струйной аэрации естественных водоемов и биологических прудов /Помогаева Валентина Васильевна. Диссертация ...канд. техн. наук Воронеж. 2009. – 190 с.

79. Пономарев А. Я. Растворенный кислород как важнейший биогидрохимический показатель качества воды / А. Я. Пономарев // Научный альманах. – 2015. – № 12-2(14). – С. 146-149. – DOI 10.17117/na.2015.12.02.146. – EDN VKMDWB.

80. Попкович Г.С. Системы аэрации сточных вод / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин, – М. Стройиздат. – 1986. – 133 с.

81. Рамадан А. Оценка прихода солнечной энергии и выбор оптимального угла наклона солнечной батареи для условий Сирии / А. Рамадан, В.В. Елистратов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018. – С. 12-27. doi: 10.15518/isjaee.2018.22-24.012-027.

82. Рудобашта С.П. Теплотехника. Издание второе, дополненное. – М.: Издательство «Перо», 2015. – 672 с.

83. Савушкин С. С. Улучшение качества воды в открытых водоемах за счет использования систем аэрации / С. С. Савушкин, С. М. Давшан // Природообустройство. – 2009. – № 2. – С. 39-42. – EDN KWVMGD.

84. Свидетельство на полезную модель RU №18597 "Устройство питания от фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии". Виссарионов В. И., Буранов Р. М. // Роспатент, 2001 г.

85. Серпокровлов Н. С. Сравнительная оценка аэраторов для очистки сточных вод по обобщенному критерию аэрации / Н. С. Серпокровлов, А. С. Смоляниченко, И. И. Лесников // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 97-100. – DOI 10.17673/Vestnik.2011.02.21. – EDN RDPBUN.

86. Худенко Б.М. Аэраторы для очистки сточных вод. Стройиздат, 1973. – 112 с.

87. Центральное статистическое бюро Сирии. (2022). Статистическая группа, природные условия. – Режим доступа: <http://cbssyr.sy/> (дата обращения: 19.04. 2024).

88. Цупикова Н. А. Некоторые гидролого-гидрохимические особенности

и проблемы малых городских прудов на примере пруда Поплавок / Н. А. Цупикова, Е. А. Севостьянова // Известия КГТУ. – 2021. – № 62. – С. 50-64. – DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-50-64. – EDN YDCXFS.

89. Чанцев В.Ю. Анализ вертикального движения воздушно-пузырьковой завесы в воде / В.Ю. Чанцев // Ученые записки РГГМУ. 2017. – № 46. – с. 64–70.

90. Шикломанов И.А. Водные ресурсы России и их использование. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.

91. Шитиков В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко; Институт экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти: Самарский научный центр РАН, 2003. – 463 с. – ISBN 5-93424-109-5. – EDN QKMGTL.

92. Яковлев С.В. Биологическая очистка производственных сточных вод : Процессы, аппараты и сооружения / С. В. Яковлев, И. В. Скирдов, В. Н. Швецов и др.; Под ред. С. В. Яковлева. - Москва: Стройиздат, 1985. – 208 с.

93. Abirhire O. Understanding the factors associated with long-term reconstructed turbidity in Lake Diefenbaker from Landsat-imagery / O. Abirhire, J. M. Davies, X. Guo, J. Hudson // Science of the Total Environment. – 2020. Vol. 724. – P. 138222. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138222.

94. Al-Charideh A. Isotope hydrology of deep groundwater in Syria: renewable and non-renewable groundwater and paleoclimate impact / A. Al-Charideh, B. Kattaa // Hydrogeology Journal. – 2016. – Vol. 24, No. 1. – pp. 79-98. – DOI 10.1007/s10040-015-1324-4. – EDN JGOLAG.

95. Alhaj Omar F. Prospects of Pv Energy Systems in Addressing Energy Poverty in Syria / F. Alhaj Omar, I. Mahmoud, K. G. Cedano-Villavicencio // Social Science Research Network. – 2022. – DOI 10.2139/ssrn.4232757. – EDN TVJWVO.

96. Al-Kubaisi M. H. Application of organic indicators and overall index to assess the level of water pollution in Habbaniyah lake, Iraq / M. H. Al-Kubaisi, E. A. Al-Heety, Y. M. Yousif // The Iraqi Geological Journal. – 2021. – Vol. 54, No. 2A. pp. 93-102. <https://doi.org/10.46717/igj.54.2A.7Ms-2021-07-28>.

97. Aytac A. An effective aeration system for high performance pond aeration at low energy cost / A. Aytac, G. T. Kelestemur, M. C. Tuna // Aquaculture International. – 2024. – DOI 10.1007/s10499-024-01492-6. – EDN XNJZJW.

98. Azanaw A. Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater / A. Azanaw, B. Birlie, B. Teshome, M. Jemberie // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2022. – Vol. 6. – P. 100230. – DOI 10.1016/j.cscee.2022.100230. – EDN GFESMS.

99. Baba A. Groundwater resources and quality in Syria / A. Baba, R. Al. Karem, H. Yazdani // Groundwater for Sustainable Development. – 2021. – Vol. 14. – P. 100617. – DOI 10.1016/j.gsd.2021.100617. – EDN NIPXXV.

100. Badam V. K. Experimental investigations of regimes of bubble formation on submerged orifices under constant flow condition / V. K. Badam, V. Buwa, F. Durst // Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2007. – Vol. 85, No. 3. – pp. 257-267. – DOI 10.1002/cjce.5450850301. – EDN YACPAH.

101. Bonacina L. Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review / L. Bonacina, F. Fasano, V. Mezzanotte, R.

Fornaroli // *Biological Reviews*. – 2023. – Vol. 98, No. 1. – pp. 191-221. – DOI 10.1111/brv.12903. – EDN BAHIHU.

102. Boyd C. E. Pond water aeration systems. *Aquacultural engineering*, 1998. – Vol. 18, No. 1. – pp. 9-40. – doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00019-3.

103. Brack P. A simple, low-cost, and robust system to measure the volume of hydrogen evolved by chemical reactions with aqueous solutions / P. Brack, S. Dann, et al. // *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 2016. – Vol. 114 (e54383). – P. 7. – DOI: doi:10.3791/54383.

104. Carvalho A. Determination of dissolved oxygen in water by the Winkler method: Performance modelling and optimisation for environmental analysis / A. Carvalho, et al. // *Microchemical Journal*, 2021. – Vol. 165. – P. 106129. – doi.org/10.1016/j.microc.2021.106129.

105. Drgham M. M. The Current Water Balance in Syria: Evaluating the potential contribution of Constructed Wetlands as a treatment plant of municipal wastewater in Al-Haffah. – 2020.

106. Fallah, R. Q. Thermal Characteristics of Latakia Governorate during the Period 1990-2020 / R. Q. Fallah, A. Alwaraa // *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (JAPAN)*, 2022. – Vol. 1, No. 4. – pp. 113-126.

107. Febriyanto F. Effects of Temperature and Aeration on The Dissolved Oxygen (DO) Values in Freshwater Using Simple Water Bath Reactor: A Brief Report / F. Febriyanto // *Walisongo Journal of Chemistry*, 2020. – Vol. 3, No. 1. – pp. 25-30. – doi.org/10.21580/wjc.v3i1.6108.

108. Gaddis E.S. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions / E.S. Gaddis, A. Vogelpohl // *Chemical Engineering Science*. – 1986. – Vol. 41, No. I. – pp. 97-105.

109. Hamid A. Local determinants influencing stream water quality / A. Hamid, S. U. Bhat, A. Jehangir // *Applied Water Science*. – 2019. – Vol. 10, No. 1. – P. 1-16. – DOI 10.1007/s13201-019-1043-4. – EDN MXTRQQ.

110. Husseyan K. Assessment of the water situation in Syria through the application of the principle of virtual water in the agricultural sector / K. Husseyan // *Journal of Damascus University of Engineering Sciences*. – 2012. – Vol. 28, No. 1. – pp. 84-69. Available from: <https://www.damascusuniversity.edu.sy/mag/eng/images/stories/69-84.pdf>.

111. Jalilzadeh Yengejeh R. The study and zoning of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD) of Dez river by GIS software / R. Jalilzadeh Yengejeh, J. Morshedi, R. Yazdizadeh // *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 2014. – Vol. 1, No. 1. – pp. 23-27.

112. Klimaszyk P. Catchment vegetation can trigger lake dystrophy through changes in runoff water quality / P. Klimaszyk, P. Rzymiski // *In Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. – 2013. – Vol. 49, No. 3. – pp. 191–197. EDP Sciences.

113. Klimaszyk P. Water quality of freshwater ecosystems in a temperate climate / P. Klimaszyk, R. Gołdyn // *Water*. – 2020. – Vol. 12, No. 9. – P. 2643. – DOI 10.3390/w12092643. – EDN ZMLYVU.

114. Kubiak J. Assessment of Pollution of Water Resources and Process of

Pollution Spreading / J. Kubiak, S. Machula // *Quality of Water Resources in Poland*. – 2021. – pp. 191-213.

115. Li W. Prediction of dissolved oxygen in a fishery pond based on gated recurrent unit (GRU) / W. Li, H. Wu, N. Zhu [et al.] // *Information Processing in Agriculture*. – 2021. – Vol. 8, No. 1. – pp. 185-193. – DOI 10.1016/j.inpa.2020.02.002. – EDN ZDYYKU.

116. Mekouar M. A. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Yearbook of International Environmental Law*, 2020. – Vol. 31, No. 1. – pp. 326-340.

117. Meslmani Y. Initial national communication of the Syrian Arab Republic. In Ministry of state for environment affairs (MSEA), in collaboration with United Nation development program (UNDP) in Syria, and the global environmental facility (GEF), submitted to the United Nations framework convention on climate change (UNFCCC), Damascus, Syria. – 2010.

118. Ministry of State for Environment Affairs. *Initial National Communication of the Syrian Arab Republic*. – 2010. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/syrnc1>.

119. Mohammad Hiba SWOT Analysis for Water Resources Sector in Syria/Hiba Mohammad // *Conference of modern technologies in the design and construction of engineering facilities*. Homs. – 2017. – Vol. 1. – pp. 1-16. Available from:

[https://www.researchgate.net/publication/346421887\\_thlyl\\_waq\\_qta\\_almward\\_almayyt\\_fy\\_swryt\\_bastkhdam\\_thlyl\\_SWOT\\_SWOT\\_Analysis\\_for\\_Water\\_Resources\\_Sector\\_in\\_Syria](https://www.researchgate.net/publication/346421887_thlyl_waq_qta_almward_almayyt_fy_swryt_bastkhdam_thlyl_SWOT_SWOT_Analysis_for_Water_Resources_Sector_in_Syria).

120. Mourad K. A. *Marginal and Virtual Water for Sustainable Water Resources Management in Syria*. PhD thesis in natural sciences, Lund University. – 2012. – P.156.

121. Noori R. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index / R Noori, R Berndtsson, M Hosseinzadeh, J.F. Adamowski, M.R. Abyaneh // *Environmental Pollution*, 2019. – Vol. 244. – pp. 575-587.

122. Qi M. Integrated Determination of Chemical Oxygen Demand and Biochemical Oxygen Demand / M Qi, Y Han, Z Zhao, Y Li // *Polish Journal of Environmental Studies*, 2021. – Vol. 30, No. 2. – pp. 1785-1794.

123. Quan Q. Research on water temperature prediction based on improved support vector regression / Q Quan, Z Hao, H Xifeng, L Jingchun // *Neural Computing and Applications*, 2022. – Vol. 34. – pp 8501–8510.

124. Saalidong B. M. Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems / B. M. Saalidong, S. A. Aram, S. Otu, P. O. Lartey // *PLoS ONE*. – 2022. – Vol. 17, No. 1. – P. e0262117. – DOI 10.1371/journal.pone.0262117. – EDN LEBGXH.

125. Sayegh C. An Analytical study of the causes of the imbalance in the Syrian water issue / H. Mahmoud, C. Sayegh // *Tishreen University Journal of scientific research and studies. Economic and Legal Sciences series*, 2015. – Vol. 37, No. 5. – pp. 147-167.

Available from: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/econlaw/article/view/2506/2378>.

126. Tan C. W. Studies on turbidity in relation to suspended solid, velocity, temperature, pH, conductivity, colour and time / C. W. Tan, A. Thishalini, E. G. Goh, S. Edlic // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017. – Vol. 12, No. 19. – pp. 5626–5635.
127. Thomas D. Assessing the surface water status in Pannonian ecoregion by the water quality index model / D Tomas, M Čurlin, A.S Marić // *Ecological Indicators*, 2017. – Vol. 79. – pp. 182-190.
128. Tomperi Ja. Functionality of turbidity measurement under changing water quality and environmental conditions / Ja. Tomperi, A. Isokangas, T. Tuuttila, M. Paavola // *Environmental Technology*. – 2022. – Vol. 43, No. 7. – pp. 1093-1101. – DOI 10.1080/09593330.2020.1815860. – EDN AYAOOM.
129. Uddin Md. G. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality / Md. G. Uddin, S. Nash, A. I. Olbert // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 122. – P. 107218. – DOI 10.1016/j.ecolind.2020.107218. – EDN ZTLSTT.
130. Verma R. K. Development of simplified WQIs for assessment of spatial and temporal variations of surface water quality in upper Damodar river basin, eastern India / R. K. Verma, Sh. Murthy, R. K. Tiwary, S. Verma // *Applied Water Science*. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – pp. 1-15. – DOI 10.1007/s13201-019-0893-0. – EDN SQBFAY.
131. Vigiak O. Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies / O. Vigiak, B. Grizzetti, A. Udias-Moinelo [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 666. – pp. 1089-1105. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.02.252. – EDN ISGVII.
132. Yang B. Mixing, stratification, and plankton under lake-ice during winter in a large lake: Implications for spring dissolved oxygen levels / B Yang, MG Wells, J Li, J Young // *Limnology and Oceanography*, 2020. – Vol. 65, No. 11. – pp. 2713-2729. – doi.org/10.1002/lno.11543.
133. Youssef Diab Electricity in War. New Form of Urban Management. - Aleppo: Metropolitics. – 23.11.2018. Vol. 1, – pp. 1-12 URL: <https://metropolitics.org/Electricity-in-War-Tom-Aleppo-A-New-Form-of-Urban-Manadgement.html>.
134. Zhang Lu. Turbidity dynamics of large lakes and reservoirs in northeastern China in response to natural factors and human activities / Lu. Zhang, Zh. Xin, L. Feng [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 368. – P. 133148. – DOI 10.1016/j.jclepro.2022.133148. – EDN GVYRBX.
135. Zhang Ya. A Critical Review of Methods for Analyzing Freshwater Eutrophication / Ya. Zhang, M. Li, J. Dong [et al.] // *Water*. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – P. 225. – DOI 10.3390/w13020225. – EDN KMAEMJ.
136. Zhang Yu. Control and remediation methods for eutrophic lakes in the past 30 years / Yu. Zhang, P. Luo, Sh. Zhao [et al.] // *Water Science and Technology*. – 2020. – Vol. 81, No. 6. – pp. 1099-1113. – DOI 10.2166/wst.2020.218. – EDN QYCMWT.
137. Zhou B. Long-term remote tracking the dynamics of surface water turbidity using a density peaks-based classification: A case study in the Three Gorges

Reservoir, China / B. Zhou, M. Shang, Li. Feng [et al.] // Ecological Indicators. – 2020. – Vol. 116. – P. 106539. – DOI 10.1016/j.ecolind.2020.106539. – EDN UASABV.

138. Zohary T. Temperature and the size of freshwater phytoplankton / T. Zohary, G. Flaim, U. Sommer // Hydrobiologia. – 2021. – Vol. 848, No. 1. – P. 143-155. – DOI 10.1007/s10750-020-04246-6. – EDN WJBOBE.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1

Протокол испытаний №1. Результаты полевых и лабораторных анализов проб воды, взятых из водохранилища «16 Тишрин», до и после использования устройства для аэрации придонных слоев воды использованного аспирантом  
Исмаил Хуссейн



### تقرير الاختبار رقم 1

نورد فيما يلي نتائج التحاليل الحقلية والمخبرية التي أجريت في مخبر الهندسة البيئية لعينات مياه مأخوذة من سد 16 تشرين، وذلك قبل وبعد استخدام جهاز لتهوية الطبقات السفلية للمياه المُضخَّم من قبل طالب الدكتوراه حسين اسماعيل:

1- قبل استخدام الجهاز لتهوية الطبقات السفلية من الماء:

PH	الاستهلاك البيوكيميائي للاوكسجين (مغ / ل)	الأوكسجين المنحل (مغ / ل)	العكارة (مغ / ل)	درجة الحرارة (درجة مئوية)	البارامترات التاريخ
7,5	7	4,5	20	25	20.10.2023
7,2	8	4	23	24	21.10.2023
7,3	7,6	4,3	21	24	22.10.2023

2- بعد استخدام الجهاز لتهوية الطبقات السفلية من الماء:

PH	الاستهلاك البيوكيميائي للاوكسجين (مغ / ل)	الأوكسجين المنحل (مغ / ل)	العكارة (مغ / ل)	درجة الحرارة (درجة مئوية)	البارامترات التاريخ
7,7	4,5	6,5	5	23	20.10.2023
7,3	5,4	5,8	5,7	22	21.10.2023
7,5	5	6	5,5	23	22.10.2023

الظروف المخبرية أثناء إجراء التجارب:

- درجة حرارة الهواء: (+30) درجة مئوية.
- رطوبة الهواء: (65) %.

الأجهزة المستخدمة في إجراء التجارب:

- جهاز قياس درجة الحرارة حقلياً.
- جهاز قياس العكارة.
- جهاز قياس الأوكسجين المنحل حقلياً.
- حاضنة BOD.
- جهاز قياس الأس الهيدروجيني.



عميد كلية الهندسة المدنية  
د.م. حسام سلطان

رئيس قسم الهندسة البيئية  
د.م. حسام صبوح

أمين مخبر الهندسة البيئية

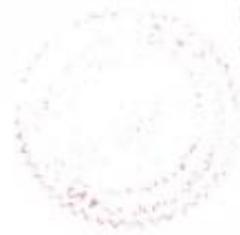
م. مها زيفة

Посольство  
 Сирийской Арабской Республики  
 Консульский Отдел  
 удостоверяет подлинность предстоящей подделки  
 Москва «22» — 11 — 2023 г.  
 № 1232  
 Консул

السكرتير الثالث  
 كنان صقر



202301232  
 موسكو  
 حسين اسماعيل  
 2023/11/22  
 معادل غير نسخة التام والواقع دون التسمية عن محتوى الوثيقة

Протокол испытаний №1. Результаты полевых и лабораторных анализов проб воды, взятых из водохранилища «16 Тишрин», до и после использования устройства для аэрации придонных слоев воды использованного аспирантом Исмаил Хуссейн

ПЕРЕВОД С АРАБСКОГО ЯЗЫКА НА РУССКИЙ ЯЗЫК

СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
«УНИВЕРСИТЕТ ТИШРИН»

герб университета

Факультет гражданского строительства  
Кафедра «Инженерной экологии»  
«Лаборатория инженерной экологии»  
Латакия в 31.10.2023 г

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 1**

Ниже представлены результаты полевых и лабораторных анализов, проведенных в инженерно-экологической лаборатории проб воды, взятых из водохранилища «16 Тишрин», до и после использования устройства для аэрации придонных слоев воды исследованного аспирантом **Исмаил Хуссейн**:

1- Перед использованием устройство для аэрации придонных слоев воды:

Показатель Дата	Температура (°C)	Мутность (мг/л)	растворенный кислород (мг/л)	БПК (мг/л)	РН
20.10.2023	25	20	4,5	7	7,5
21.10.2023	24	23	4	8	7,2
22.10.2023	24	21	4,3	7,6	7,3

2- После использованием устройство для аэрации придонных слоев воды:

Показатель Дата	Температура (°C)	Мутность (мг/л)	растворенный кислород (мг/л)	БПК (мг/л)	РН
20.10.2023	23	5	6,5	4,5	7,7
21.10.2023	22	5,7	5,8	5,4	7,3
22.10.2023	23	5,5	6	5	7,5

**Условия проведения испытаний:** Температура воздуха +30 °C, влажность 65%

**Используемое оборудование:**

- Полевой прибор для измерения температуры и водородного показателя.
- Прибор для измерения мутности.
- Полевой прибор, специально предназначенный для измерения концентрации растворенного кислорода в воде.
- БПК-инкубатор.

Заведующий лабораторией  
ст. преподаватель, инженер

Маха Зайфа

/подпись/

Заведующий кафедрой

к.т.н, доцент

Саббух Хоссам

/подпись/

Декан факультета

д.т.н, профессор

Султан Бассам

/подпись/

**Штапы и печати:**

Печать: Университет Тишрина, Факультет гражданского строительства.

Марка об уплате госпошлины- 100 сирийских фунтов. САР.

Марка об уплате госпошлины- 500 сирийских фунтов. САР

Марка об уплате госпошлины- 500 сирийских фунтов. САР

Штамп: 13.11.2023 г.

Печать: Сирийская Арабская Республика\* Министерство иностранных дел и мигрантов, 12.

Штамп: Сирийская Арабская Республика\* Министерство иностранных дел и мигрантов\*  
Свидетельствует верность подписи и печати и не несет ответственности за содержание документа. Латакия в 13.11.2023 г. Начальник консульского отдела Рана Шейх (подпись)

Печать: Посольство Сирийской Арабской Республики в Москве, консульские дела.

Личный штамп: Сакер Кинан/ (Третий секретарь)/ Подпись.

Печать: Посольство Сирийской Арабской Республики в Москве 57. Взыскан консульский сбор.

Марка об уплате: Сирийская Арабская Республика, министерство финансов, 202301232, Москва, Исмаил Хуссейн, Бесплатно, от 22.11.2023 г. Удостоверяем подлинность подписи и печати не несём ответственности за содержание документа.

*Перевод данного текста выполнен переводчиком Князевой Виталиной Васильевной.*

**Российская Федерация  
Город Москва**

**Двадцать седьмого ноября две тысячи двадцать третьего года**

Я, Моисеева Лилия Владимировна, нотариус города Москвы, свидетельствую подлинность подписи переводчика Князевой Виталины Васильевны.  
Подпись сделана в моем присутствии.  
Личность подписавшего документ установлена.

Зарегистрировано в реестре: № 50/995-н/77-2023- *21- 3176*

Уплачено за совершение нотариального действия: 400 руб. 00 коп.



*L. V. Moiseeva*



Всего пронумеровано, пронумеровано и скреплено печатью 3 лист(-а) в

*L. V. Moiseeva*

Л.В. Моисеева

Копия свидетельства о поверке Анализатора растворенного кислорода,  
тип Марк-302, модификация МАРК-302М, госреестр № 24997-03

 <b>ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ</b>	
<b>ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА»</b>	
Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Москве и Московской области»	
RA.RU.311341 <b>СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № С-МА/06-06-2024/344756887</b>	
Действительно до <u>05 июня 2025 г.</u>	
Средство измерений	Анализаторы растворенного кислорода, тип Марк-302, модификация МАРК-302Т, госреестр № 24997-03 <small>наименование, тип, модификация (при наличии), регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа средств измерений</small>
заводской номер	254 <small>заводской (серийный номер) или буквенно-цифровое обозначение</small>
в составе	-
поверено	в полном объеме <small>наименование единиц величин, поддиапазонов, на которых поверено средство измерений или которые исключены из поверки</small>
в соответствии с	"Методика поверки" в ВР29.00.000 РЭ <small>наименование и (или) обозначение документа, на основании которого выполнена поверка</small>
с применением эталонов	ГСО 10531-2014, СО СОСТАВА ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ИНЕРТНЫХ И ПОСТОЯННЫХ ГАЗОВ (ИП-М-1), объемная доля O <sub>2</sub> 12,50 %, 1Р; госреестр № 61806-15, Термометры лабораторные электронные, тип ЛТ-300, модификация ЛТ-300, № 806792, РЭ; госреестр № 62151-15, Генераторы газовых смесей, тип ГГС мод. ГГС-Р, ГГС-Т, ГГС-К, ГГС-03-03, модификация ГГС-К, № 407, 1Р; <small>регистрационные номера эталонов и (или) наименования и обозначения типов стандартных образцов, типов средств измерений, их регистрационные номера, заводские или серийные номера или буквенно-цифровое обозначение, обязательные требования к эталонам</small>
при следующих значениях влияющих факторов	Температура окружающего воздуха: 23,0 °С; Относительная влажность: 54,6 %; Атмосферное давление: 98,6 кПа; <small>перечень влияющих факторов, при которых проводилась поверка, с указанием их значений</small>
и на основании результатов периодической поверки признано пригодным к применению. <a href="https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-344756887">https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-344756887</a> <small>Номер записи сведений о результатах поверки в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений</small>	
Поверитель	Панов А. А. <small>фамилия и инициалы</small>
Знак поверки	
	
Начальник лаборатории, лаборатория №448	Дубинчик А. Г. <small>фамилия и инициалы</small>
<small>должность руководителя или другого уполномоченного лица</small>	<small>подпись</small>
Дата поверки	<u>06 июня 2024 г.</u>
Заявление-квитанция 1000-034459 от 30.05.2024	