

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2025

Работа выполнена на кафедре сельскохозяйственного строительства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель:	Михеев Павел Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственного строительства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
Официальные оппоненты:	Исаева София Давидовна, доктор технических наук, заведующая отделом экосистемного водопользования и экономики ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова» Дрововозова Татьяна Ильинична, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела обеспечения экологической безопасности мелиоративных систем ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «25» ноября 2025 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, учебный корпус №28, аудитория 201, тел.: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан « » 202 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.07
кандидат технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Сирия входит в число стран, испытывающих дефицит воды, поскольку доля доступных водных ресурсов на душу населения в республике достигнет 732 м³ в 2025 году и по прогнозам снизится вдвое к 2050 году при «абсолютном» дефиците менее 500 м³ 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. Дрововозовой, 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. Aytac, 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 натурных 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 натурных исследований, обработке и анализе результатов экспериментов, формулировке заключения и предложений производству, а также в написании текста диссертации. В проведении натурных 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы включая: актуальность темы исследования, степень ее разработанности, определены цели и задачи работы, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, а также теоретическая и практическая значимость, сведения об апробации результатов, публикациях и структуре диссертации.

В первой главе в результате литературного анализа показано, что растворенный кислород является одним из наиболее важных показателей, влияющих на экологию поверхностных водоёмов, стимулируя развитие полезных бактерий и разложение органических веществ, увеличивая способность поверхностного источника воды к самоочищению. Оценка водно-физических и гидрохимических показателей воды водохранилищ 16 Тишрин, Аль-Музайна и Музейриб, расположенных в западных провинциях Сирии, позволила сделать вывод о необходимости использования на данных объектах инновационных технологий улучшения качества воды. В настоящее время, в первую очередь в условиях прудов различного назначения, наибольшее распространение получили технические решения аэраторов, на основе механического, пневматического и струйного подходов, которые требуют значительных энергетических затрат. При этом показано, что в сложившихся политических и социально-экономических условиях Сирийской Арабской Республики наиболее перспективным является разработка, исследование и обоснование параметров технических решений для улучшения качества поверхностных вод на основе возобновляемых источников энергии.

Во второй главе рассмотрены современные принципы создания систем аэрации естественных водоемов, на основе возобновляемых источниках энергии, которые базируются на традиционных технологиях преобразования солнечной энергии в электрическую, с помощью фотоэлектрических преобразователей или кинетической энергии ветра в механическую, с последующей подачей на силовые установки аэраторов.

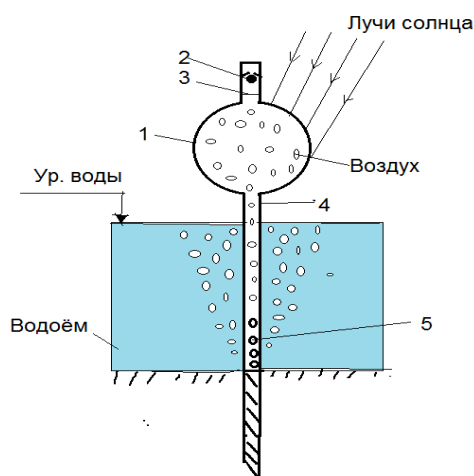
Так как наиболее значимыми видами использования возобновляемых источников энергии в условиях естественных водоёмов являются солнечная энергия и энергия ветра, в работе предложены конструкции устройств для улучшения качества воды естественных водоёмов, которые защищены патентами на полезные модели и основаны на использовании солнечной энергии RU № 212935, RU № 214200, а также энергии ветра, точнее, энергии волн, которые формируются на поверхности водоема RU № 210274.

Сравнительный анализ разработанных устройств для улучшения качества воды поверхностных водоисточников показал, что по возможностям применения, условиям эксплуатации к дальнейшим исследованиям принята конструкция по патенту на полезную модель RU № 214200, приведенная на рисунке 1, а.

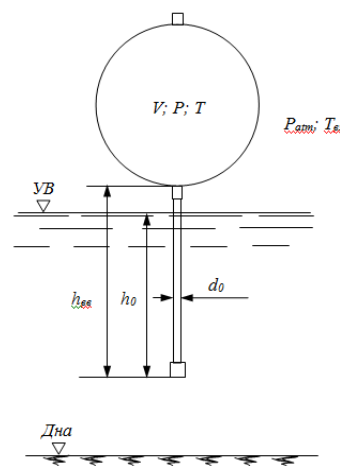
В верхней части ёмкости-накопителя закреплен впускной клапан с защитной сеткой, а смонтированный снизу шара патрубок выполнен в виде перфорированной трубы с отверстиями, конец которой закреплен в грунте водоёма.

Работает устройство 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 охлаждается, давление в полости снижается ниже атмосферного, впускной клапан открывается и воздух заполняет ёмкость-накопитель. В дневной период, при повышении температуры поступление воздуха в придонные слои водоёма автоматически повторяется.

а)



б)



а – патент на полезную модель RU № 214200; б – расчетная схема (опорный элемент не показан); 1 – ёмкость-накопитель; 2 – шаровой клапан; 3 – сетка; 4 – перфорированная труба; 5 – отверстия

Рисунок 1 – Устройство для аэрации придонных слоев воды:

В соответствии с принципом работы аэратора задача расчета заключается в определении объема ёмкости-накопителя устройства необходимых для его работы при нормативных показателях качества воды с учетом солнечной инсоляции в климатических и гидрологических условиях водоисточника.

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

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (1)$$

где: P – давление газа, Па; V – объём газа, м³; m – масса газа, кг; M – молярная масса, $M = 0,029$ кг/моль; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль К); T – температура газа, К.

Записав уравнение (1) при температуре воздуха T_1 внутри ёмкости-накопителя в момент выхода первого пузырька воздуха в воду и T_2 в момент выхода последнего пузырька в воду, получаем формулы для определения массы воздуха соответственно внутри ёмкости-накопителя (m_1) и оставшуюся внутри ёмкости-накопителя после выхода последнего пузырька (m_2) и приняв допущения, что:

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

– 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 $m_{\text{аэ.в}}$ будет равна разнице массы воздуха внутри ёмкости-накопителя в начале и в конце выхода воздуха

$$m_{\text{аэ.в}} = m_1 - m_2 = \frac{P V M}{R T_1} - \frac{P V M}{R T_2} = \frac{P V M}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (2)$$

В соответствии с расчетной схемой (см. рисунок 1, б), 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.

Пренебрегая потерями напора на входе и при движении воздуха по длине трубы воздуховода (см. рисунок 1, б), учитывая низкую скорость воздуха, малую длину трубы $h_{\text{вв}}$ и диаметр d_0 воздуховода, формула давления воздуха внутри ёмкости-накопителя на момент выхода первого пузырька будет иметь вид

$$P = P_{\text{atm}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{\text{вк}}, \quad (3)$$

где P_{atm} – атмосферное давление, Па; ρ_0 – это плотность воды, кг/м³; g – ускорение

силы тяжести, м/с^2 ; h_0 – глубина погружения выходного отверстия воздуховода под уровень воды, м ; $h_{\text{вк}}$ – потери напора на выходе из выпускного клапана, зависят от интенсивности подачи и расхода воздуха и могут быть приняты в пределах $0,3 - 0,5$ кПа.

Подставив (3) в (2) и проведя преобразования получим формулу для расчета массы воздуха выходящего из ёмкости-накопителя

$$\Delta m = \frac{(P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{\text{вк}})VM}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right). \quad (4)$$

По условиям, насыщение воды кислородом необходимо при его дефиците в водоёме, т.е. разницы между нормативной $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2}$ концентрацией кислорода, соответствующей условиям использования объекта, и текущей концентрацией $C_{\text{т}}^{\text{O}_2}$, т.е. в процессе аэрации подачу требуемого количества, масса которого $m_{\text{аэ.в}}$

$$m_{\text{аэ.в}} = \frac{V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2})}{m_{\text{O}_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{вод}}$ – объём водоёма, м^3 ; $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2}$ – нормативная концентрация кислорода в воде объекта, для летнего периода $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} = 6 - 8$ мг/л; $C_{\text{т}}^{\text{O}_2}$ – текущая концентрация, не может быть менее $2,0 - 2,5$ мг/л; m_{O_2} – масса кислорода в 1 м^3 воздуха величина постоянная равная $0,21 \text{ м}^3$ при плотности $\rho_{\text{O}_2} = 1,43 \text{ кг/м}^3$, $m_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot 1,43 = 0,3 \text{ кг/м}^3$; $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности переноса кислорода в воду зависит от типа аэратора в среднем равен $0,4$; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\rho_{\text{в}} = 1,22 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, количество воздуха, выходящего из ёмкости-накопителя Δm должно соответствовать количеству воздуха требуемого для устранения дефицита кислорода в водоёме $m_{\text{аэ.в}}$, приравняв правые части (4) и (5) получим

$$\frac{(P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{\text{вк}})VM}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) = \frac{V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2})}{m_{\text{O}_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \rho_{\text{в}}. \quad (6)$$

Полагая в уравнении (6) V равным объёму ёмкости-накопителя конструкции $V_{\text{аэр}}$ и приняв объём водоёма $V_{\text{вд}} = 1,0 \text{ м}^3$, а также подставив значения постоянных: $R = 8,31 \text{ Дж/(моль К)}$, $M = 0,029 \text{ кг/моль}$ и $m_{\text{O}_2} = 0,3 \text{ кг}$ в $1,0 \text{ м}^3$, получим зависимость для $V_{\text{аэр}}$ при аэрации 1 м^3 воды водоёма

$$V_{\text{аэр}} = 955,17 \cdot \frac{(C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2}) \cdot \rho_{\text{в}}}{(P_{\text{атм}} + \rho_0 g h_0 + h_{\text{вк}}) \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right). \quad (7)$$

Под воздействием солнечных лучей из ёмкости-накопителя вытесняется определенная доля объема воздуха, которая устанавливается в процессе исследования 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.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных как в лабораторных условиях солнечной радиации

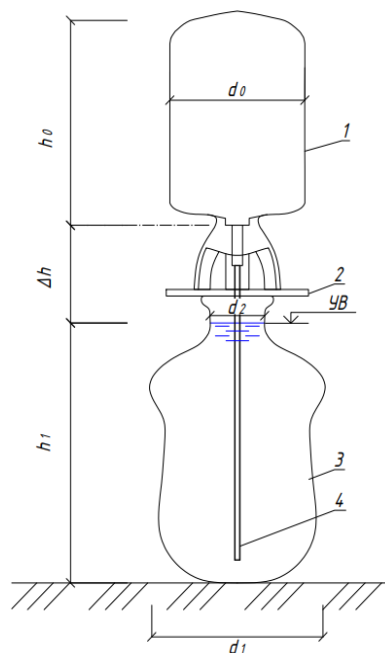
Сирии, так и в искусственных условиях термокамеры.

Экспериментальные исследования проводились в сентябре-октябре 2023 года на открытой площадке в г. Кирсана, провинция Латакия, установка представляла собой металлический корпус ёмкости-накопителя, окрашенный в черный цвет и установленный на стеклянную емкость, выполняющую роль водоёма, трубка-воздухпровод присоединялась с помощью штуцера (рисунок 2).

а)



б)



а – общий вид; б – схема экспериментальной установки;
1 – ёмкость-накопитель; 2 – подставка для ёмкости-накопителя;
3 – ёмкость с водой; 4 – трубка-воздуховод

Рисунок 2 – Экспериментальная установка
г. Кирсана, провинция Латакия, Сирия:

Размеры экспериментальной установки: 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; погружение трубки-воздуховода под уровень воды 40 см. Температура воздуха в опытах измерялась с помощью ртутного термометра с точностью до 1 °С, время фиксировалось с помощью электронного секундомера с точностью до 0,1 сек.

Опытная установка размещалась на открытой площадке, солнечные лучи попадали на поверхность ёмкости-накопителя весь световой день. Выход воздуха фиксировался видеосъемкой на светлом фоне в устойчивом солнечном потоке в течение всего эксперимента (см. рисунок 2, а). Для оценки поступления воздуха в воду, принято количество пузырьков, выходящих из трубки-воздуховода, которое фиксировалось видеокамерой с последующей дешифровкой с помощью программы замедления. В момент выхода первого пузырька и в конце опыта,

когда выход пузырьков стабилизировался, фиксировались с десятиминутным интервалом время, температура наружного воздуха и температура корпуса ёмкости-накопителя.

Анализ результатов опытов позволил установить три периода в работе устройства: с интенсивным выходом пузырьков продолжительностью в 110–120 минут; с падением интенсивности более чем в два раза продолжительностью до 20 минут; с равномерным выходом пузырьков продолжительностью до 40 минут. При переходе от количества пузырьков к единицам объема воздуха, использовался известный в литературе подход, при котором объём пузырька в момент отрыва принимался равным объёму сферы с диаметром трубки-воздуховода.

Динамика объёмов выхода воздуха в воду при температурах наружного воздуха 24°C, 27°C и 29°C за время работы устройства представлена на рисунке 3.

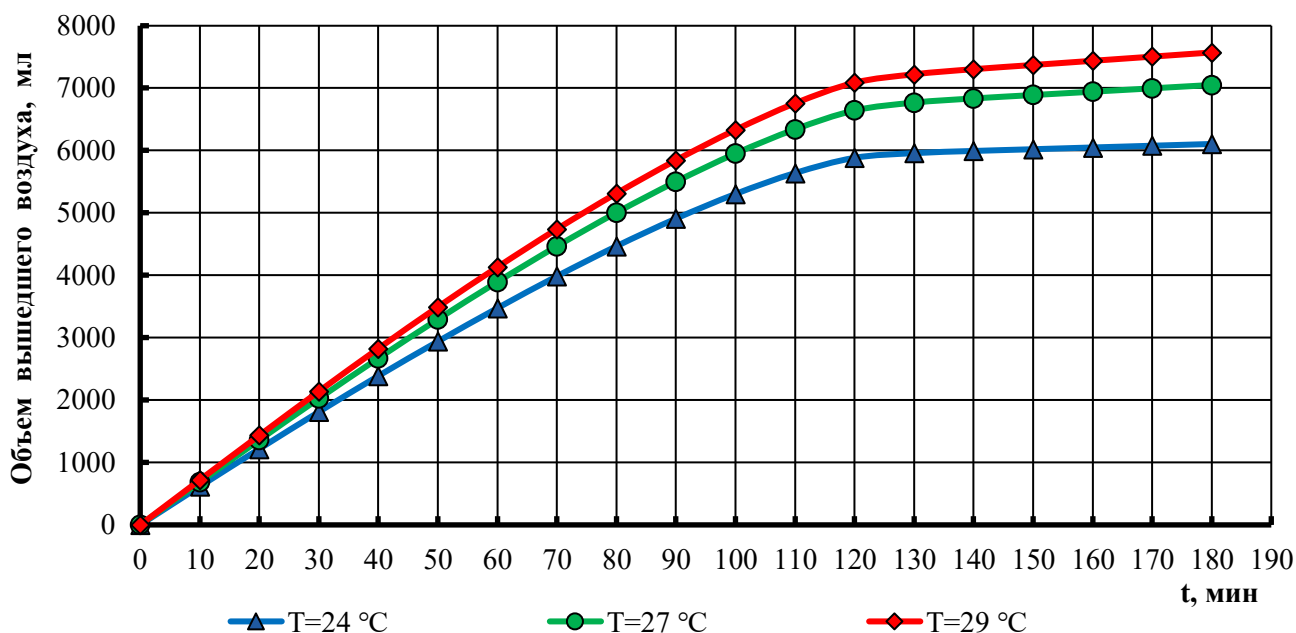


Рисунок 3 – Закономерность изменения объёма воздуха, вышедшего за время работы экспериментального устройства

Исследования экспериментального устройства объёмом 10 л в климатических условиях Сирии показали, что его режим характеризуется устойчивой работой в течении более чем 120 минут, а объём подаваемого воздуха превышает 60% рабочего объёма ёмкости-накопителя.

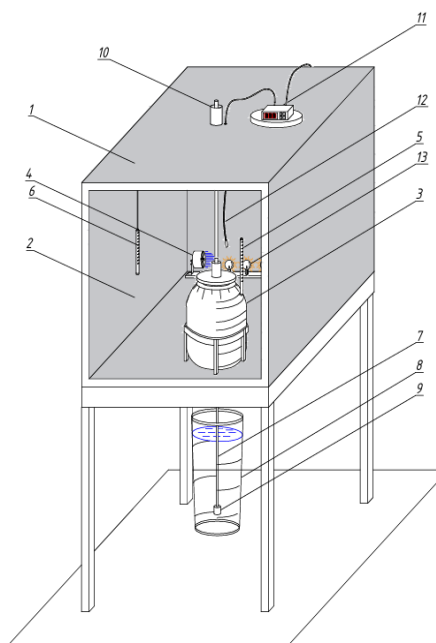
Лабораторные исследования в условиях искусственно создаваемого режима проводились в период с декабря 2023 по апрель 2024 года в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, в термокамере размером 70×70×70 см, внутренняя поверхность которой была покрыта отражающим самоклеющимся фольгированным утеплителем толщиной 10 мм, внутри камеры размещалась экспериментальная установка (рисунок 4).

Для создания стабильной температуры внутри термокамеры у задней стенки установлены вентилятор и четыре лампы накаливания каждая мощностью 95 Вт, подключенные к регулятору температуры, установленному на внешней поверхности термокамеры, с датчиком измерения температуры в диапазоне 0–100 °С и управления работой ламп накаливания, размещенный внутри термокамеры (рисунок 4,б). Воздух, активированный вентилятором, направлялся к лампам, что позволяло равномерно распределять выделяемое ими тепло внутри термокамеры, лицевая сторона 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, внутренний диаметр трубки-воздуховода 7 мм; длина трубки 80 см, погружение выходного отверстия клапана под уровень воды в ёмкости 60 см. Камера оборудована спиртовыми термометрами внутри термокамеры, температура воздуха колебалась от 15 до 50 °С, и в полости корпуса для измерения температуры внутри ёмкости-накопителя, время в опытах фиксировалось секундомером.

а)



б)



а – общий вид; б – схема экспериментальной установки;

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 4 – Экспериментальная установка устройства для аэрации придонных слоёв воды в термокамере

Модель устройства в виде металлического корпуса ёмкости-накопителя, окрашенного в черный цвет, снизу и сверху которого расположены штуцеры, соединенные пластиковыми трубками, соответственно с выпускным и впускным клапаном. 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.

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: метод пузырьков, по методике приведенной выше и методом водоизмещения с помощью стеклянного мерного сосуда объемом 2000 см³, по известной в литературе методике. Результаты по определению объема воздуха, выходящего в ёмкость, сравнивались с расчетными значениями $V_{\text{воз.р}}$, определенными с учетом (2) по формуле

$$V_{\text{воз.р}} = \frac{m_{\text{аз.в}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (8)$$

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

Результаты обработки данных исследований, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – 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

Данные опытов показывают, что 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 %.

В четвертой главе рассмотрены материалы натурных исследований, выполненных в два этапа: в условиях водохранилища 16 Тишрин в Сирии и прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии.

Водоохранилище 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, сравнения показателей работы установки.

Устройство для аэрации придонных слоев воды было установлено на водохранилище 16 Тишрин вместе размещения водозабора для подачи воды на водоснабжения, 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 воздуховода на глубине 1,5 м от поверхности (рисунок 5).

а)



б)



а – общий вид установки; б – выход пузырьков воздуха

Рисунок 5 – Компонировка экспериментальной установки в условиях водохранилища 16 Тишрин:

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.

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: pH -метра «EZODO PCT-407»; мутномера «НАСН 2100P Turbidimeter»; оксиметра «Oxi 315i»; системы «OxiTop» измерения БПК¹.

¹ Взятие, обработка и исследование проб проводились с участием сотрудников лаборатории «Инженерной экологии», кафедры инженерной экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин в провинции Латакия Сирии, по методике ГОСТ Р 58556–2019.

При установившихся значениях дневной температуры вначале эксперимента наблюдался период интенсивного выхода воздуха в воду, однако, в отличие лабораторного эксперимента, процесс выхода воздуха в натурных условиях выражен несколько равномернее по интенсивности, при этом активный период визуально определен равным 120 минутам. Для оценки качественных показателей работы устройства при аэрации воды использовались результаты лабораторных исследований проб воды, взятых перед началом работы и после использования устройства для аэрации, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение физико-химических показателей воды до и после использования устройства для аэрации

Дата опыта	Температура воды, °С		Мутность, мг/л		Растворенный кислород, мг/л		БПК, мг /л		pH	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
20.10.2023	25	23	20	5	4,5	6,5	7	4,5	7,5	7,7
21.10.2023	24	22	23	5,7	4	5,8	8	5,4	7,2	7,3
22.10.2023	24	23	21	5,5	4,3	6	7,6	5	7,3	7,5

Данные таблицы свидетельствуют, что работа исследуемого устройства в условиях водохранилища 16 Тишрин, оказало положительное влияние на измеряемые в ходе опытов физико-химические показатели воды.

Второй этап натурных исследований проводился на площадках прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии, и включали две серии опытов по оценке на площадках прудов лаборатории прудового рыбоводства в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева концентрации растворенного кислорода в воде в процессе работы устройств, в том числе устройства с колпаком из фольгированного материала для защиты от воздействия ветра и увеличения потока солнечных лучей на ёмкость-накопитель (рисунок 6).

а)



б)



в)



а – по патенту на полезную модель № 214200; б – с защитным колпаком;
в – исследования содержания кислорода

Рисунок 6 – Варианты исследованных экспериментальных моделей в условиях прудов лаборатории прудового рыбоводства Тимирязевской академии:

Результаты исследований в виде зависимостей объема воздуха вышедшего в воду от изменения наружной температуры при наличии и отсутствии защитного колпака приведены на рисунке 7, что позволяет 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 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.

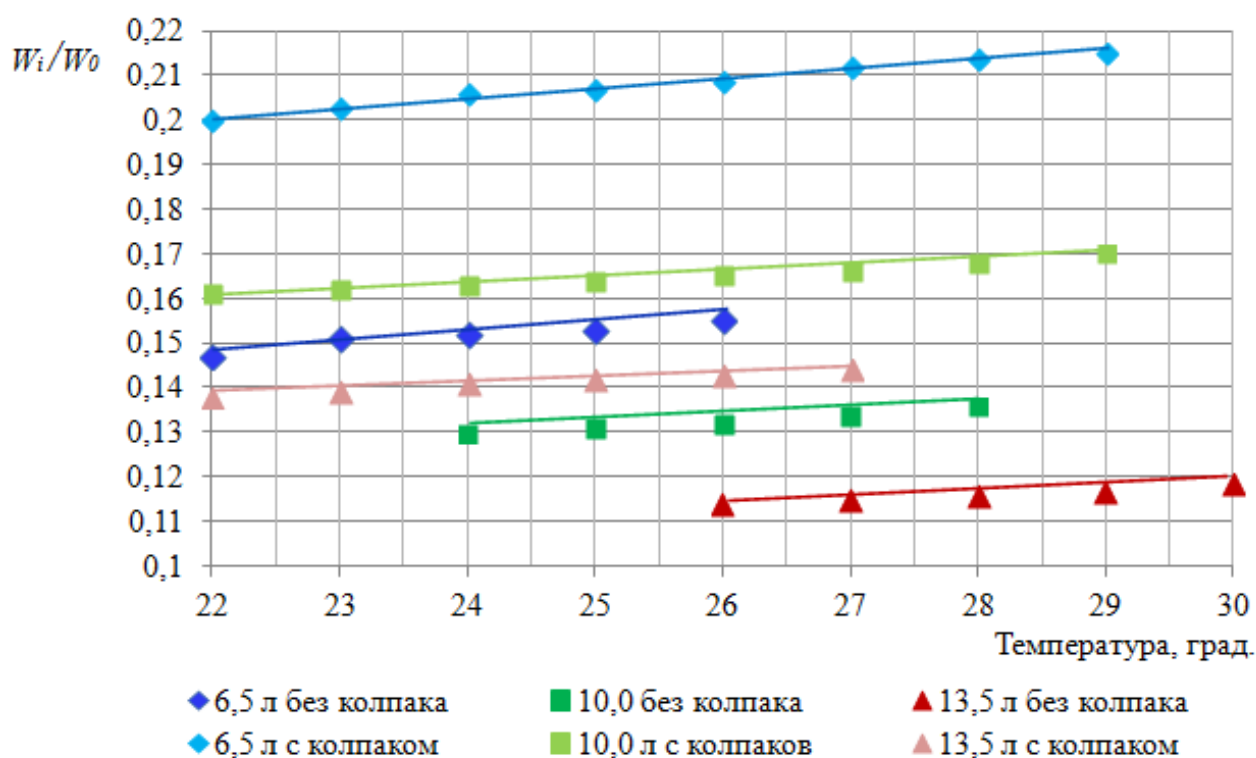


Рисунок 7 – Закономерности изменения объема вышедшего воздуха в воду в зависимости от температуры наружного воздуха при наличии и отсутствии защитного колпака

Динамика изменения концентрации РК в процессе работы устройства представлена в виде отношения концентрации РК в момент измерения или текущей РК_i к фоновой РК₀, зафиксированной на начало опыта, данные обработки результатов опытов приведены на рисунке 8, которые позволяют заключить: 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.

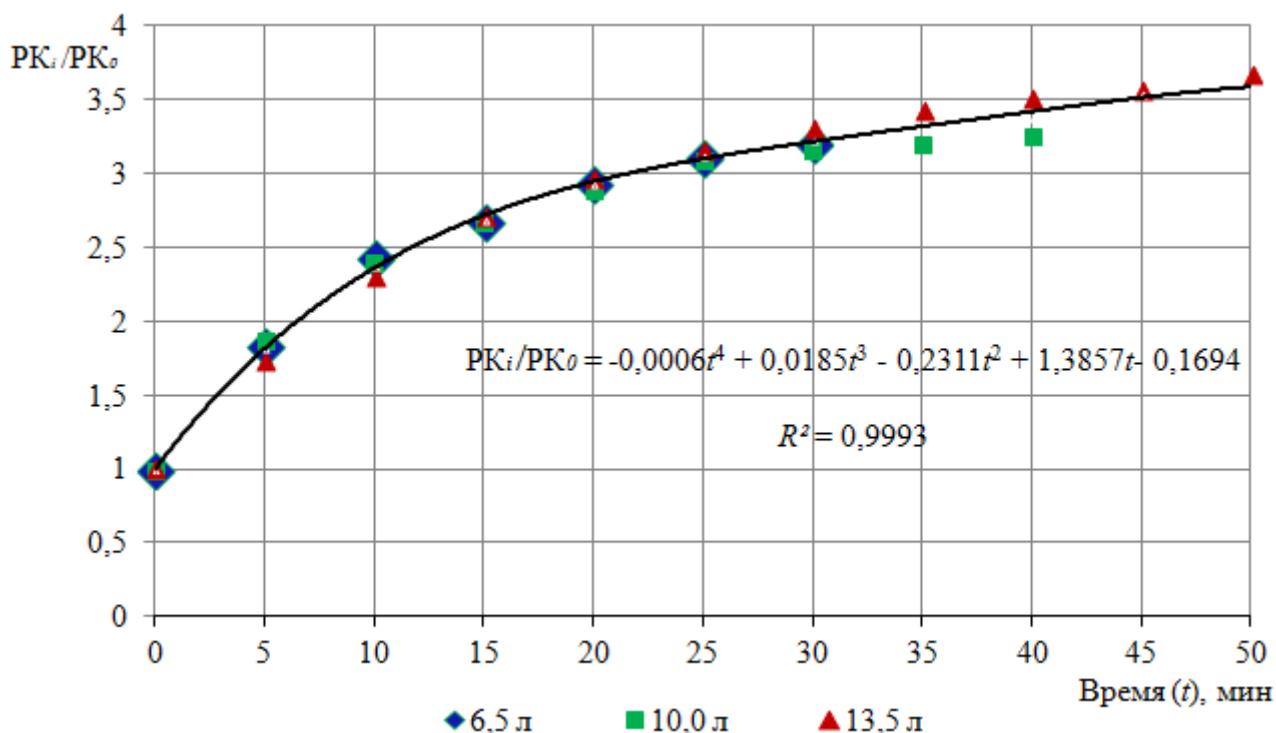
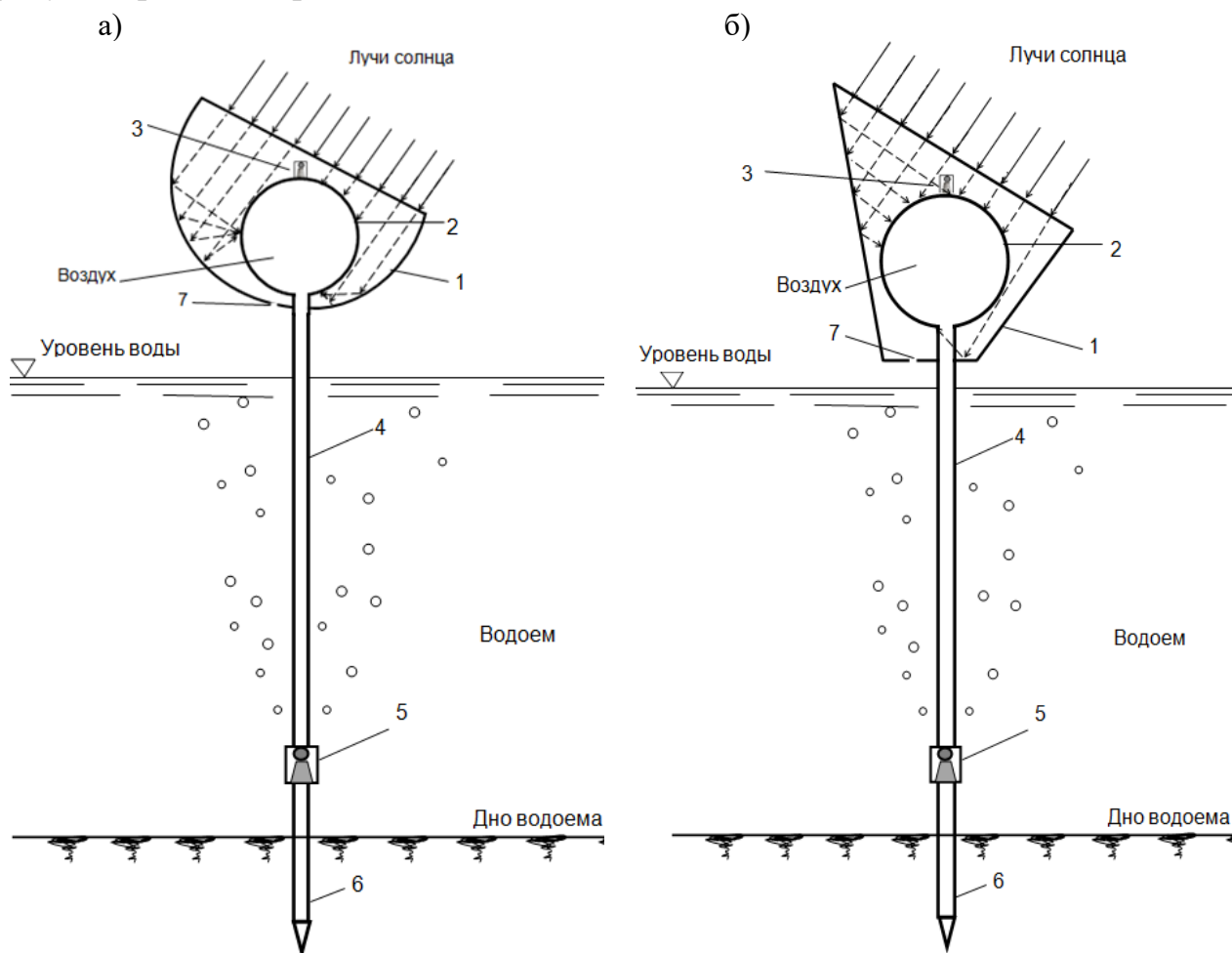


Рисунок 8 – Изменения концентрации РК в процессе работы устройства с разным объемом ёмкости-накопителя

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. Такая конструкция устройства была разработана и защищена патентом на полезную модель в двух модификациях, RU № 232337 и RU № 232338 (рисунок 8).

Как и исходное устройство для аэрации придонных слоев воды закрепляется в грунте дна водоёма, содержит колпак в виде перевернутого усеченного конуса (рисунок 8, а) или сферического сегмента (рисунок 8, 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.



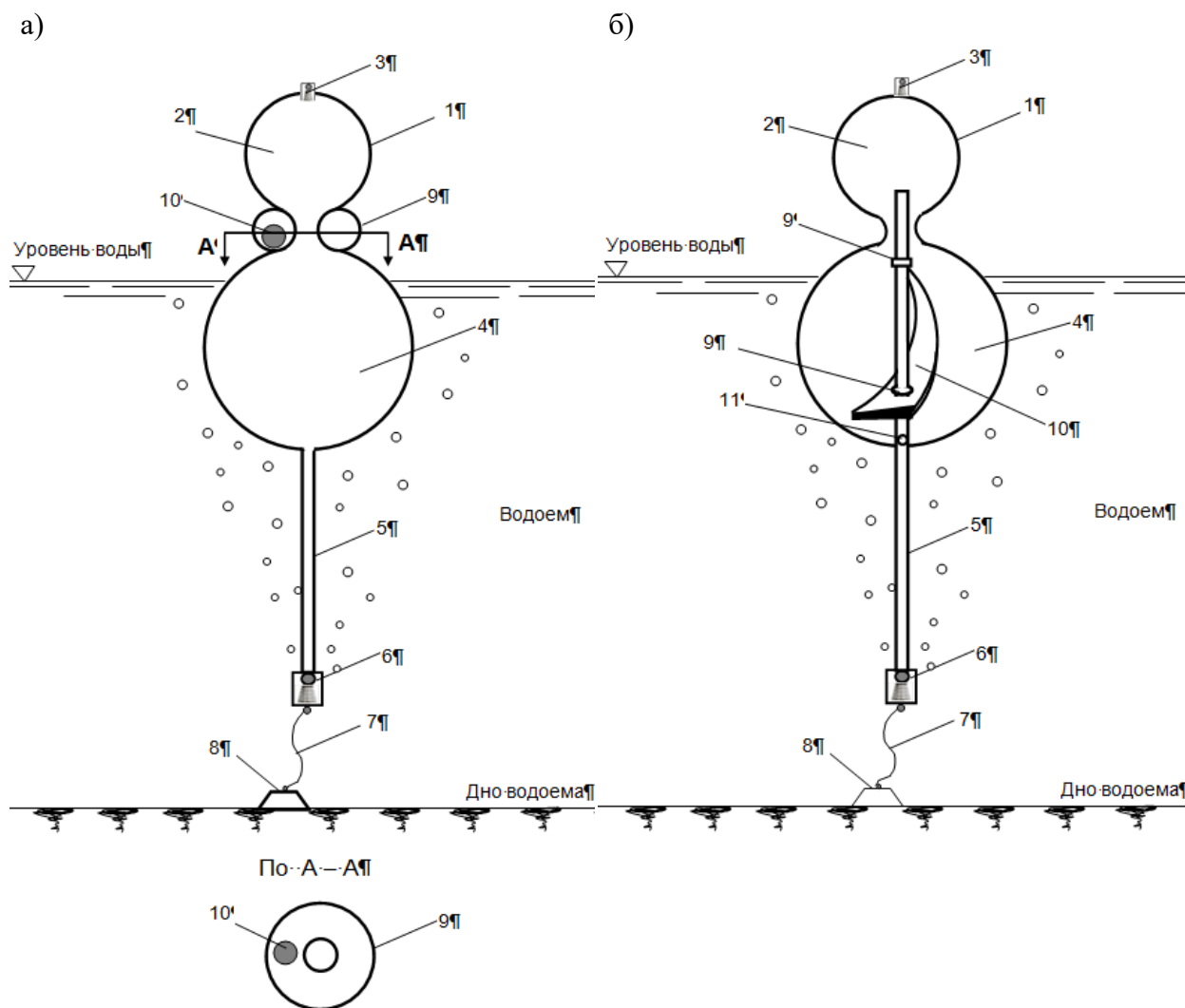
- а – колпак-конус по патенту на полезную модель RU № 232337;
 б – колпак-сфера по патенту на полезную модель RU № 232338;
 1 – колпак; 2 – ёмкость-накопитель; 3 – впускной клапан; 4 – труба-воздуховод;
 5 – клапан-распылитель; 6 – свайный наконечник; 7 – отверстие

Рисунок 9 – Устройства для аэрации придонных слоев воды:

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, таким образом, при равенстве температур воздуха снаружи и внутри камеры устройства процесс выдавливания воздуха будет стабилизироваться. 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 (рисунок 9).



а – патент на полезную модель RU № 230434; б – то же RU № 230435

1 – двухкамерная ёмкость; 2 – верхняя камера; 3 – впускной клапан;

4 – нижняя камера; 5 – труба воздуховода; 6 – выпускной клапан-распылитель;

7 – трос; 8 – якорь; 9, а – торообразное кольцо; 9, б – подшипники;

10, а – шар-эксцентрик; 10, б – лопасть-эксцентрик; 11 – сливные отверстия

Рисунок 10 – Устройство для аэрации придонных слоев воды:

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.

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 № 214200, 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 концентрация 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 раз, повысить концентрацию растворенного кислорода в воде. По результатам 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, 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 увеличением объема подачи воздуха в нижние горизонты водоёма, и, в-третьих, с расширением зоны воздействия устройства в водном пространстве природного источника.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Исмаил, Хуссейн Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии / Хуссейн 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.
2. Исмаил, Хуссейн Особенности гидрохимического режима водохранилищ западных провинций Сирии / Хуссейн Исмаил, П. А. Михеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 8-12. – DOI 10.32962/0235-2524-2024-2-8-12.
3. Исмаил, Хуссейн Натурные исследования устройства для аэрации воды водохранилища «16 Тишрин» в Сирии / Хуссейн Исмаил, П. А. Михеев // Природообустройство. – 2024. – № 5. – С. 104-109. – DOI 10.26897/1997-6011-

2024-5-104-109.

4. Михеев, П. А. О возможностях подготовки питьевой воды из поверхностных источников Сирии / П. А. Михеев, Х. Ш. Саббух, Хуссейн Исмаил // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 93-101. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101.

5. Исмаил, Хуссейн Удаление железа в воде при помощи аэрации / Хуссейн Исмаил, Э. Е. Назаркин, Д. А. Беда // Естественные и технические науки. – 2020. – № 12(150). – С. 245-247.

6. Михеев П.А. Оценка работы аэратора на солнечной энергии в условиях рыбоводных прудов Тимирязевской академии / П.А. Михеев, Хуссейн Исмаил // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 17–28. – DOI 10.31774/2712-9357-2025-15-3-17-28.

7. Михеев П.А. Лабораторные исследования устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях термокамеры / П.А. Михеев, Хуссейн Исмаил // Мелиорация и водное хозяйство, 2025, № 3 – с. 7-10. – DOI 10.32962/0235-2524-2025-3-7-10.

Патенты и свидетельства:

8. 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 / В. В. Петрашкевич, П. А. Михеев, Д. М. Бенин, Хуссейн Исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

9. 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 / В. В. Петрашкевич, П. А. Михеев, Д. М. Бенин, Хуссейн Исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

10. Патент на полезную модель № 210274 U1 Российская Федерация, МПК E02B 15/00, C02F 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, Хуссейн Исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

11. 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, Хуссейн исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

12. 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, Н. А. Коноплин, Д. М. Бенин, Хуссейн исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

13. 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, Н. А. Коноплин, Д. М. Бенин, Хуссейн Исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

14. 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, Н. А. Коноплин, Д. М. Бенин, Хуссейн Исмаил [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

Работы, опубликованные в других изданиях:

15. Исмаил, Хуссейн Об устройстве для аэрации придонных слоев воды в условиях Сирии / Хуссейн Исмаил // Глобальное научно-техническое сотрудничество: вызовы и возможности: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Москва, 11 апреля 2024 года. – Москва: Издательство ЦДПО «Цифровая академия», 2024. – С. 87-92.

16. Исмаил, Хуссейн Исследования устройства для аэрации придонных слоев воды с использованием климатического тепла / Хуссейн 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.

17. Назаркин, Э. Е. Уменьшение концентрации железа в воде при помощи аэрации / Э. Е. Назаркин, Хуссейн 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.