

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ

УДК 622.331:639.3

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-1-67-77

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНКУБАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, УСТАНАВЛИВАЕМОЙ НА ОТРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

А.А. АНДРИАНОВА, ст. препод., А.Л. ЯБЛОНЕВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: lp62007@yandex.ru

© Андрианова А.А., Яблонев А.Л., 2026

Рекультивация отработанных торфяных месторождений является важной хозяйственной задачей. Современные методы рекультивации в большинстве случаев предполагают затопление и обводнение. Обводненные площади можно использовать для воспроизводства ценных пород рыб при помощи инкубационных систем, рассчитанных на применение в проточной воде. В качестве подводящих труб в наибольшей степени подходят гофрированные ПВХ трубы. Экспериментальное определение критических скоростей и критических чисел Рейнольдса, выполненное в данной работе, позволит производить дальнейший гидравлический расчет инкубационных систем.

Ключевые слова: отработанное торфяное месторождение, затопление, зарыбление, инкубационная система, гофрированная ПВХ труба, критическая скорость, критическое число Рейнольдса.

ВВЕДЕНИЕ

Введение в хозяйственный оборот отработанных торфяных месторождений относится к числу важных экологических и экономических задач. Как обосновывалось ранее, наиболее эффективным методом является обводнение и зарыбление [1]. Это природоохраный подход, который помогает восстановить природные экосистемы и улучшить экологическое состояние территорий.

На сегодняшний день рекультивация торфяных карьеров включает в себя затопление без дальнейшего рационального использования. Львиная доля затопленных площадей относится к периоду до 1991 года, когда добыча торфа в России доходила до 175 млн т/год [2]. При добыче торфа образуются карьеры и траншеи, которые могут быть использованы для создания глубоких водоемов. Это позволяет решить сразу несколько задач [2]:

1) восстановления водного баланса: искусственно созданные озера и пруды улучшают гидрологический режим территории, стабилизируя влажность почвы и предупреждая процессы высыхания;

2) формирования новых экосистем: вода привлекает диких животных и птицу, что повышает биоразнообразие территории;

3) развития рекреации: обустроенные водоемы становятся популярными у населения местами отдыха, открывают перспективы развития туризма и рыболовства;

4) экологическая польза: накопленные запасы воды играют роль буферных резервуаров, смягчая последствия экстремальных погодных явлений, таких как наводнения и засуха.

Зарыбление представляет собой процесс заселения водоемов промысловыми видами рыб, такими как карп, толстолобик, амур, сиг, щука и др. Рыболовство позволяет эффективно и комплексно использовать территорию и получать дополнительный доход. Здесь можно выделить следующие аспекты:

1) экономический: выращивание рыбы создает рабочие места, стимулирует развитие инфраструктуры и приносит прибыль;

2) социальный: благодаря доступности свежих продуктов питания улучшается питание местного населения, особенно в удаленных районах;

3) научно-исследовательский: на водоемах организуют экспериментальные площадки для изучения поведения рыб с целью разработки технологий выращивания и управления популяциями.

Зарыбление торфяников связано с геотехнологией, оно позволяет решить проблему экологически безопасной утилизации пустующих площадей и сформировать новые производственные мощности (рис. 1).



Рис. 1. Фотография обводненного отработанного торфяного карьера [3]

Создаваемые на бывших торфоразработках водоемы служат источником пресной воды, необходимой для питьевого снабжения, полива сельхозугодий и промышленного использования. Одновременно обеспечивается воспроизводство ценных пород рыб, благодаря чему можно снизить нагрузку на природные акватории и поддерживать баланс водных экосистем.

Водоемообразование снижает вероятность пожаров и предотвращает загрязнение воздуха дымом и пылью, образующимися при эксплуатации открытых разработок торфа. (Пожары и пыление от ветра могут быть и на отработанных месторождениях, поскольку отработка осуществляется с оставлением защитного слоя.)

Постоянный контроль уровня воды также уменьшает риск просадки грунтов и образования опасных провалов.

Использование зарыбленных торфяников повышает рентабельность предприятий, занимающихся разведением рыбы и производством рыбной продукции. Появляются дополнительные возможности для организации малого и среднего бизнеса.

Зарыбление водоемов укрепляет естественные защитные механизмы, повышая способность природы противостоять негативному воздействию изменений климата, лесных пожаров, техногенных аварий и прочих кризисных ситуаций [4].

Таким образом, внедрение практики зарыблении торфяников выступает важным инструментом решения широкого спектра проблем, возникающих в результате активной промышленной деятельности человека. Применение современных геотехнологий позволяет минимизировать негативные последствия и превратить бывшие торфодобывающие предприятия в центры экономического роста.

Прудовое рыбоводство на торфяных карьерах – весьма перспективное направление. Высокую ценность представляют карьеры болот низинного типа. Почвы низинных торфяников значительно богаче фосфором и мало отличаются от других видов почв по содержанию калия [5].

Естественно, что для комплексного использования отработанных торфяных месторождений при высоком уровне рентабельности, первоочередной интерес представляет разведение в торфяных прудах ценных пород рыб, хотя это сложная задача из-за специфики таких водоемов. Торфяные пруды характеризуются высокой кислотностью воды (низким уровнем pH), наличием большого количества органических веществ и, как правило, недостаточным содержанием кислорода. Эти условия подходят далеко не для всех видов рыб, особенно тех, которые считаются цennыми с точки зрения аквакультуры.

Высокое содержание в воде органики в большей степени отражается на колебаниях кислородного режима и высокой окисляемости.

Рассматривая гидрохимический режим торфяников, важно отметить, что показатели, не соответствующие рыболовным нормативам, можно регулировать при рациональном подходе к рыбохозяйственному освоению этих водоемов [6].

Опыт использования торфяных карьеров в целях культурного рыболовства на территории РФ достаточно большой.

Так, еще в 1931 году при исследовании Мытищинских торфяных карьеров в целях развития культурного рыболовства были сделаны следующие выводы [7]:

1. Торфяные водоемы, предназначенные под культурную рыбу, должны позволять спуск воды до дна.

2. Поперечные бровки, скрытые под водой, мешают при отлове, так как рыба прижимается к стенкам.

3. Желательно, чтобы ширина продольных бровок между карьерами была более 0,75 м.

4. Заросли растительности на бровках и перешейках необходимо удалять.

5. Мальки чешуйчатого карпа вполне приживаются к торфяным водоемам и др.

Зона прудового рыболовства в России весьма значительна. В зависимости от поставленных производственных задач рыбные хозяйства могут иметь свой специализированный набор технологических и вспомогательных прудов: водоснабжающих, производственных, санитарно-профилактических, вспомогательных.

В первую очередь рассматривается зарыбление водоемов ценными видами рыб, так как это представляет собой важный инструмент природоохранной и экономической политики, направленный на защиту редких видов, повышение продовольственной безопасности и содействие региональному развитию.

В России и за рубежом разрабатываются и внедряются различные технологии зарыбления водоемов, одной из которых является инкубация искусственно оплодотворенной икры в естественных условиях [8].

Все инкубационные аппараты можно разделить на следующие группы по их целевому назначению:

- 1) аппараты для инкубации крупной икры лососевых, которая находится в неподвижном состоянии (семга, кумжа, горбуша);
- 2) аппараты для мелкой икры, которая при инкубации находится в беспрерывном движении (белорыбица, пелядь, омуль);
- 3) аппараты для обесклеенной икры осетровых и карповых, которая периодически находится то в состоянии покоя, то в движении (рыбец, осетр, белуга);
- 4) аппараты для необесклеенной икры осетровых и карповых, которая при инкубации находится в неподвижном состоянии (белуга, осетр, сазан) [9].

Существует два основных типа гнезд-инкубаторов, которые можно применять в естественной среде. Первый – инкубатор типа «штопор» (рис. 2). К его достоинствам можно отнести чистоту внутри конструкции, отсутствие заиливания. Недостатком является низкая производительность, так как конструкция совсем небольшая.

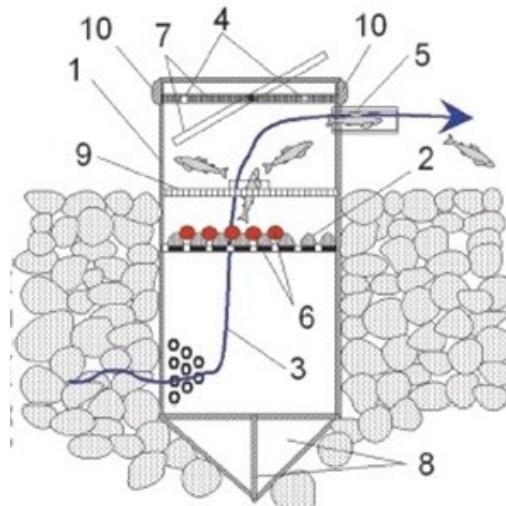


Рис. 2. Схема гнезда-инкубатора типа «штопор»: 1 – корпус гнезда; 2 – субстрат с силиконовыми лунками; 3 – поступление воды подруслового потока; 4 – дренажные отверстия; 5 – патрубок для оттока воды и выхода личинок; 6 – икра; 7 – поворачиваемая крышка для загрузки икры; 8 – разрыхлитель грунта; 9 – концентрирующее кольцо; 10 – приливы [10]

Еще один тип инкубатора – «шайба» (рис. 3). Устройство рассчитано на инкубацию 400...500 икринок. Эффективность данного устройства составляет около 97 %.

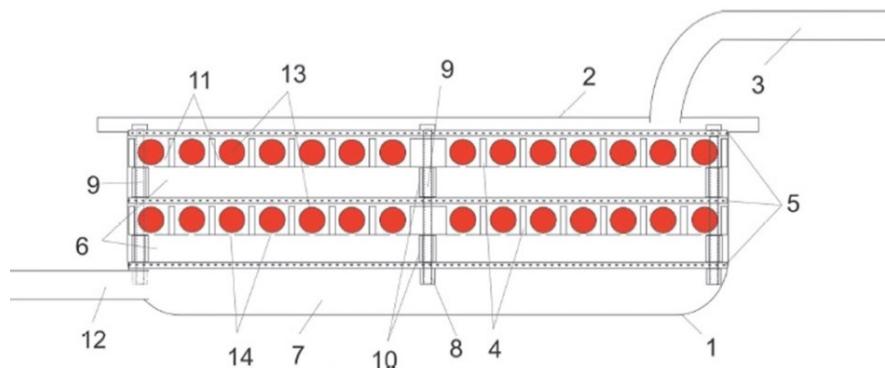


Рис. 3. Схема гнезда-инкубатора типа «шайба»: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – выпускной патрубок; 4 – пластина с канавками для икры; 5 – удерживающая решетка с сеткой; 6 – накопительная камера; 7 – отстойная камера; 8 – гайка; 9 – болт; 10 – втулка; 11 – инкубационные канавки; 12 – впускной патрубок; 13 – инкубурируемая икра; 14 – щели для выхода личинок в нижележащую накопительную камеру [3, 11]

«Штопор» и «шайбу» устанавливают в осенний период до ледостава или в зимнее (весенне) время при наличии ледяного покрова в проточный водоем. Оба устройства прошли испытания и рекомендованы к дальнейшему использованию. Примечательно, что их максимальная эффективность достигается при наличии определенных гидравлических условий, к которым относятся скорость потока, уклон, скорость обтекания икринок, потери напора. Как показали исследования, для того чтобы обеспечить работоспособность и эффективность проектируемого устройства, необходимо иметь сведения о распределении скоростей течения внутри устройства и в обтекающем потоке.

Требуемые ихтиологические данные для проектирования гнезда-инкубатора и данные для определения его эффективности были получены по результатам ихтиологических исследований в лабораторных и натурных условиях.

Для оптимизации конструкций гнезд-инкубаторов в качестве подводящих трубопроводов, крепящихся к впускному патрубку гнезда-инкубатора типа «шайба», нами была предложена к применению гофрированная ПВХ труба. Такие трубы не заламываются на изгибах, в отличие от гладких мягких труб, и характеризуются продолжительным сроком эксплуатации, при этом прочностные и проводные свойства они сохраняют на протяжении всего срока. Они имеют высокий коэффициент ударной вязкости и не пропускают прямые струи воды. Диапазон эксплуатационных температур для таких труб составляет от -25 до $+60$ °С. Гибкость данной трубы позволяет ей повторять макрорельеф дна. С гофрированными ПВХ трубами можно работать даже зимой, когда водоем покрывается льдом.

Необходимы определенные значения скоростей течения в лунках при обтекании икринок. В предлагаемых нами конструкциях скорость течения воды должна быть меньше величины скорости течения, при которой икринки будут выноситься из лунок. (Данную скорость принято называть скоростью витания.) В то же время этот показатель должен находиться в пределах, в которых происходит доставка достаточного количества кислорода к икринкам. Расчет и анализ скорости обтекания икринок будет представлен в следующих работах. Однако для обеспечения эффективной работы инкубационной

системы необходимы прежде всего гидравлические характеристики гофрированных ПВХ труб, которые отсутствуют в источниках широкого доступа. Поэтому цель данной работы заключается в определении режима движения жидкости и коэффициента гидравлического трения в гофрированной ПВХ трубе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Схема экспериментальной лабораторной установки представлена на рис. 4.

Для исследований были использованы гофрированные ПВХ трубы трех внутренних диаметров: 16, 20 и 25 мм. Благодаря наличию постоянного перелива, опыты проводились при стационарном напоре. Крепление пьезометров к горизонтально расположенной гофрированной ПВХ трубе осуществлялось через специальные полипропиленовые муфты (рис. 5).

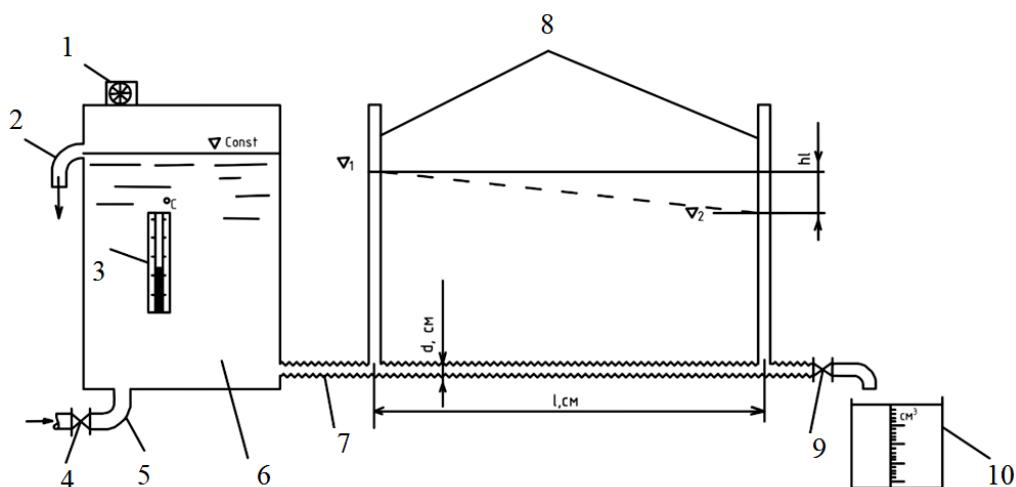


Рис. 4. Схема лабораторной установки по определению гидравлических характеристик гофрированной ПВХ трубы: 1 – секундомер; 2 – переливная трубка; 3 – термометр; 4 – вентиль; 5 – питающий трубопровод; 6 – напорный бак; 7 – гофрированная ПВХ труба; 8 – пьезометры; 9 – сливной кран; 10 – мерная емкость



Рис. 5. Крепление пьезометров к горизонтально расположенной ПВХ трубе

Методика проведения лабораторного исследования состояла в следующем:

1. Заполнялся водой напорный бак.
2. Открывался сливной кран, с помощью мерной емкости и секундометра определялся расход воды Q , м³/с.
3. Снимались показания пьезометров.
4. Все результаты записывались в расчетную таблицу.
5. По полученным результатам рассчитывались потери напора Δh , м, средние скорости потока V , м/с, опытные коэффициенты гидравлического трения λ и числа Рейнольдса Re по следующим формулам:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр ПВХ трубы, м;

$$\lambda = \frac{2\Delta h g}{l V^2}, \quad (2)$$

где Δh – потеря напора по длине, м; l – расстояние между точками подключения пьезометров, м; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (3)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с.

Все опыты проводились с пятикратной повторяемостью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам вычисления коэффициента гидравлического трения (табл. 1) построены графики зависимости коэффициента гидравлического трения от скорости течения воды (рис. 6).

Таблица 1. Результаты определения коэффициента гидравлического трения для гофрированных ПВХ труб

| Внутренний диаметр d , мм | Минимальное значение λ | Максимальное значение λ |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 16 | 0,046 9 | 0,753 5 |
| 20 | 0,013 3 | 0,239 3 |
| 25 | 0,009 7 | 0,067 5 |

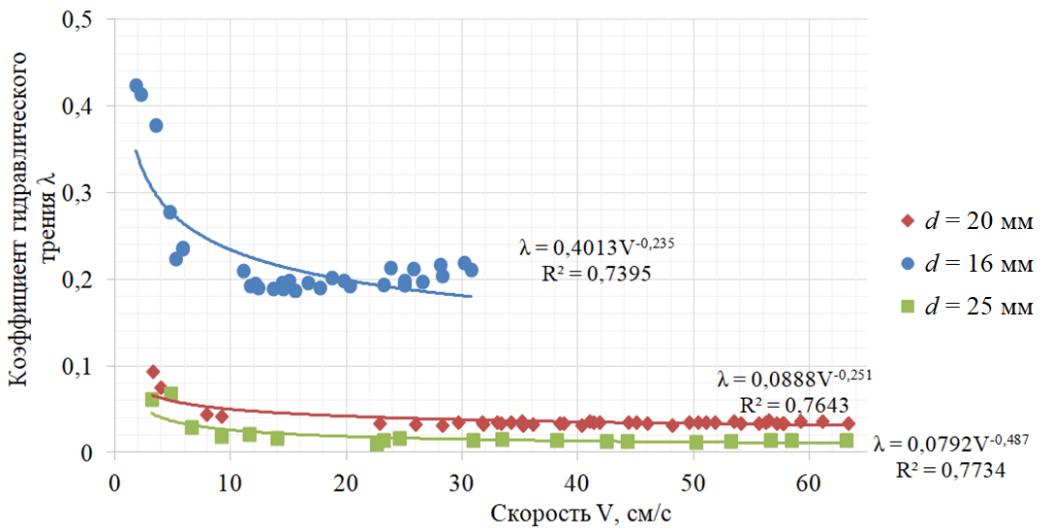
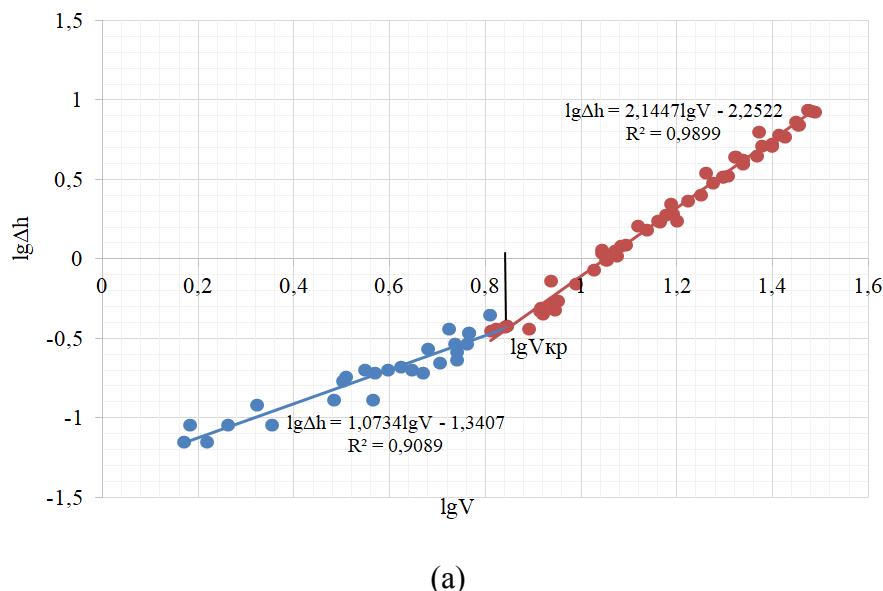


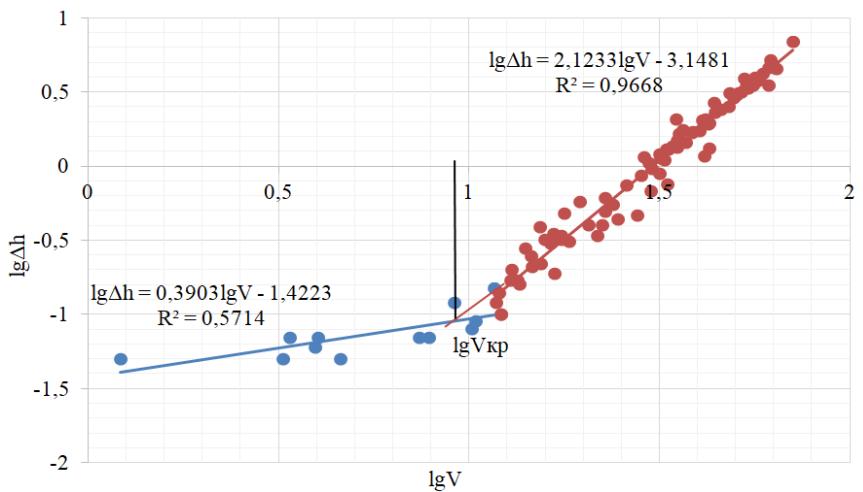
Рис. 6. Зависимость коэффициента гидравлического трения от скорости течения воды

Построенные графики зависимости скорости течения от потерь напора по длине в логарифмических координатах представлены на рис. 7. Опытные данные аппроксимированы прямыми линиями. Точки их пересечения есть критические скорости, соответствующие моментам смены режима движения воды. По критическим скоростям были определены соответствующие критические числа Рейнольдса.

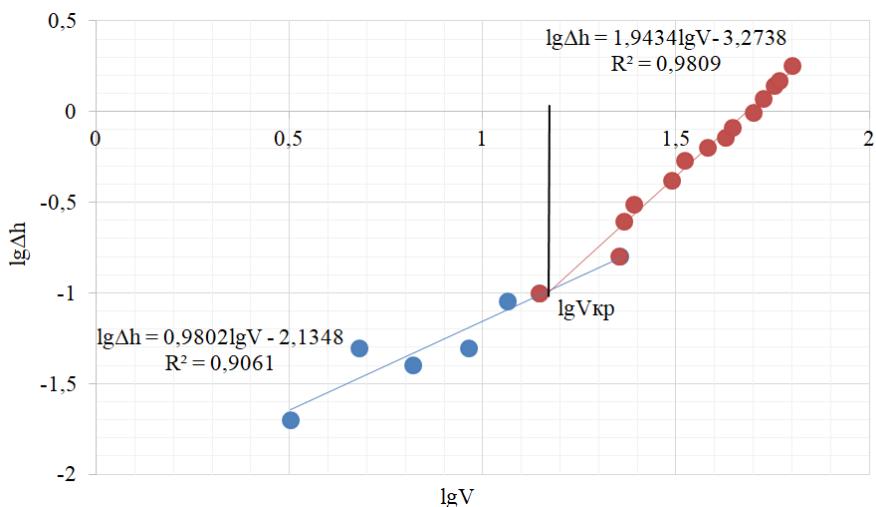


(a)

Рис. 7. Зависимость логарифма потерь напора по длине от логарифма скорости:
 $d = 16 \text{ мм}$ (а); 20 мм (б); 25 мм (в)



(6)



(в)

Рис. 7. Продолжение

Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Критические скорости воды и критические числа Рейнольдса для гофрированных ПВХ труб

| d , мм | $\lg V_{\text{кр}}$ | $V_{\text{кр}}, \text{см}/\text{с}$ | $Re_{\text{кр}}$ |
|----------|---------------------|-------------------------------------|------------------|
| 16 | 0,85 | 7,079 | 888,403 |
| 20 | 0,99 | 9,772 | 1 491,97 |
| 25 | 1,19 | 15,488 | 2 955,75 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Прудовое рыбоводство на торфяных карьерах – весьма перспективное направление.
2. Для разведения ценных пород рыб необходимо применять гнезда-инкубаторы в естественной среде.
3. Для эффективного функционирования инкубатора можно использовать гибкие гофрированные ПВХ трубы.
4. Определенные в ходе экспериментального исследования критические скорости и критические числа Рейнольдса для гофрированных ПВХ труб позволяют производить дальнейшие гидравлические расчеты инкубационной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Комплексное использование карьеров отработанных торфяных месторождений. *Современные технологии и инновации: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции*. Тверь: ТвГТУ, 2025. С. 61–65.
2. Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Обзор методов комплексного использования выработанных месторождений торфа в сравнении с другими горными породами, добываемыми открытым способом // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2025. № 2 (26). С. 26–40.
3. Бутырина Е. Кладовые природы: зачем России нужно вторичное обводнение ранее осущеных торфяников? URL: <https://fedpress.ru/article/3296529> (дата обращения: 18.10.2025).
4. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. Традиционные и перспективные способы добычи торфяного сырья // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2021. № 13. С. 37–41.
5. Мартышев Ф.Г. Прудовое рыбоводство: учебник. М.: Высшая школа, 1973. 425 с.
6. Гидротехническое бюро. URL: https://www.gidroburo.ru/index.php/a-prroe_ktirovaniye/a-6-prudy-gybnye/63-a-6-04-vidy-prudov-v-karpovom-khozyajstve (дата обращения: 11.03.2025).
7. Сидоров С.А. Опыт использования Мытищинских торфяных карьеров в целях культурного рыбоводства // *Труды Всесоюзного института торфа*. 1933. № 3. С. 166–188.
8. Скоробогатов М.А., Андрианова А.А., Павлов Д.С., Веселов А.Е., Ефремов Д.А., Ручьев М.А. Гидравлические расчеты гнезд-инкубаторов для икры лососевых рыб с выносным водозаборным устройством // *Природообустройство*. 2020. № 1. С. 104–110.
9. Козлова Г.В. Искусственное воспроизводство рыб. Керчь: КГМТУ, 2018. 104 с.
10. Патент РФ на полезную модель № 197234. Устройство для создания искусственного гнезда для лососевых рыб в естественных условиях / Скоробогатов М.А., Павлов Д.С., Веселов А.Е., Ефремов Д.А., Ручьев М.А., Андрианова А.А. Заявл. 31.12.2019. Опубл. 14.04.2020, Бюл. № 11.
11. Скоробогатов М.А., Павлов Д.С., Веселов А.Е., Ефремов Д.А., Ручьев М.А., Фомина А.А. Гидравлические исследования гнезд-инкубаторов икры лососевых рыб, устанавливаемых в речных условиях // *Рыбное хозяйство*. 2016. № 4. С. 67–70.

Для цитирования: Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Гидравлическое обоснование параметров инкубационной системы, устанавливаемой на отработанных торфяных месторождениях // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2026. № 1 (29). С. 67–77.

HYDRAULIC JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE INCUBATION SYSTEM INSTALLED AT ABANDONED PEAT DEPOSITS

A.A. ANDRIANOVA, Senior Lecturer, A.L. YABLONEV, Dr. Sc.

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: lp62007@yandex.ru

Reclamation of depleted peat deposits is an important economic task. Modern reclamation methods generally involve flooding and irrigating the areas. Irrigated areas can be used for the reproduction of valuable fish species using incubation systems designed for use in flowing water. Corrugated PVC pipes are the most suitable for supply pipes. The experimental determination of critical velocities and critical Reynolds numbers, conducted in this study, will enable future hydraulic calculations for incubation systems.

Keywords: depleted peat deposit, flooding, stocking, incubation system, corrugated PVC pipe, critical velocity, critical Reynolds number.

Поступила в редакцию/received: 25.11.2025; после рецензирования/revised: 11.12.2025;
принята/accepted: 12.12.2025

УДК 622.73

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-1-77-85

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗГОНА КУСКА ГОРНОЙ ПОРОДЫ В РОТОРЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

А.И. АФАНАСЬЕВ, д-р техн. наук, В.В. ЗУБОВ, канд. техн. наук,
Д.И. СИМИСИНОВ, д-р техн. наук, В.С. ШЕСТАКОВ, канд. техн. наук

Уральский государственный горный университет,
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

© Афанасьев А.И., Зубов В.В., Симисинов Д.И., Шестаков В.С., 2026

В работе рассмотрены взаимосвязи между кинематическими параметрами рабочего процесса и энергетическими затратами на разрушение горной породы в роторе центробежной дробилки. Предложена модель движения куска горной породы в горизонтально расположенному роторе, позволяющая рассчитать параметры процесса разгона куска горной породы с учетом ее физико-механических свойств, степени дробления и конструктивных параметров ротора. Установлено, что существенный