

УДК 621.311.24

## АЭРАЦИЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРАТОРА ВОЛНОВОГО ТИПА

*Соломин Е.В., Сироткин Е.А., Соломин Е.Е.*  
Южно-Уральский государственный университет

**Аннотация.** В статье описываются технические преимущества и экономические выгоды от использования аэрационных установок на промерзающих кормовых водоемах, получающих энергоснабжение от возобновляемых источников энергии. Проведена сравнительная оценка метода аэрации с помощью волнового потокообразователя и других методов аэрации водоемов. Приведены показатели и характеристики волнового потокообразователя для аэрации промерзающих водоемов. Проведены расчеты эффективности применения аэрационных установок с использованием устройств на основе возобновляемых источников энергии. В условиях изменяющегося климата и многообразии кормовых водоемов по всему миру, проект может быть масштабирован и распространен на территории СНГ, в странах Европы, США и Канаде.

**Ключевые слова:** Аэрация, ветроэнергетика, агропромышленный комплекс.

### AERAREA LACURILOR ÎNGHEȚATI, FOLOSÂND AERATOARE DE TIP UNDĂ

*Solomin E.E., Sirotkin E.A., Solomin E.V.*

Universitatea de Stat Ural - Sud

**Rezumat.** Articol descrie avantajele tehnice și beneficiile economice de utilizare a instalațiilor de aerare la lacurile, care îngheț în perioadă rece a anului. Instalațiile acestea sunt alimentată cu energie electrică de la sursele regenerabile de energie. Este efectuată estimarea comparativă a metodei de aerare prin intermediu al traductorului de flux de tip „unda” și altor metode de aerare a lacurilor. Sunt prezentate calculele și caracteristicile a traductorului pentru aerare a lacurilor. Sunt efectuate calculile de eficiență economică a instalațiilor de aerare pe bază a surselor regenerabile de energie. În condițiile a climatului în schimbare și diversitatea mare a lacurilor, proiectul poate fi răspândit pe teritoriul al CSI, în Europa, SUA și Canada.

**Cuvinte-cheie:** Aerarea, energetică eoliană, complex agro-industrial.

### AERATION OF THE ICE-COVERED WATER POOLS USING THE WAVE FLOW AERATOR

*Solomin E.E., Sirotkin E.A., Solomin E.V.*

South-Urals State University

**Abstract.** This article describes the technical advantages and economic benefits of the ice-covered pool aeration plants consuming power from renewable energy sources. We made a comparative evaluation of the wave flow-aeration method and other methods of pool aeration. We showed the indexes and the characteristics of the wave flow-maker for aeration of ice-covered pools on the territory of Russia. We also made calculations of the economic benefits of aeration plants using the devices converting renewable energy. The project can be scaled and extended to the territory of the CIS, Europe, USA and Canada in the changing climate conditions and the variety of feed reservoirs around the world.

**Key words:** Aeration, wind power, agro-industrial complex.

## **Введение**

Еще несколько десятилетий назад существовало устойчивое мнение, что ресурсы мирового океана неисчерпаемы, а добыча рыбы и морепродуктов подлежит постоянному росту за счет более полного освоения промысловым флотом морских и океанических акваторий. Однако реальная ситуация не подтверждает эти оптимистичные прогнозы. Уже к началу семидесятых годов прошлого столетия наметилось прекращение роста продуктивности мирового рыболовства и за последние сорок лет объемы рыбного промысла существенно не изменились. В связи с этим на сегодняшний день актуальным является развитие рыбоводства.

Производство рыбной продукции по сравнению с другими продуктами, содержащими животные белки, характеризуется высокой эффективностью. Затраты на производство 1 тонны рыбной продукции почти в 5 раз ниже, чем тонны говядины, в 3 раза – свинины, в 8 раз - сливочного масла. Капитальные вложения на производство 1 тонны мяса почти в 4 раза больше, чем на производство 1 тонны рыбной продукции.

Россия, как никакая другая страна в мире, располагает огромным потенциалом для развития рыбоводства. По данным различных источников Российская Федерация располагает от 12 до 16 млн. Га водных площадей внутренних водоемов, пригодных для выращивания рыбы. Потенциальные возможности аква-культурных хозяйств России оцениваются по меньшей мере в 2–3 млн. тонн без учета микро-водоемов с площадями менее 1 Га, не учитываемых официальной статистикой. К примеру, в Китае, где выращивают около 80% всей рыбы в мире, 60% прудовой рыбы выращивается в прудах площадью от 0,01 до 1,0 Га, то есть как раз в таких микро-водоемах.

Главной хозяйственной задачей, решаемой озерным рыбоводством во многих регионах России является производство ценной пищевой рыбы на основе нагульного (пастбищного) выращивания за счет использования естественной кормовой базы. В центральной полосе России промышленное разведение ценных пород рыб должно производиться в устойчивых к промерзанию водоемах с высоким содержанием кормов. Тем не менее, за счет промерзания озер гибнет до 90% рыбы, что приводит к крупным экономическим потерям. С изменением климата и наступлением даже временных похолоданий на территории Европы, США, Канады и других стран такая ситуация не может не привлечь внимание ученых. В связи с этим учеными и аспирантами Южно-Уральского государственного университета в г. Челябинске проведен ряд исследований, направленных на техническое и экономическое усовершенствование аэрации водоемов, перемерзающих в холодное время года, или, так называемых, «заморных» водоемов.

В Челябинской области прочно поддерживаются традиции озерного рыбоводства, ведущие начало от опыта местных каслинских и кыштымских рыбопромышленников, которые весной перевозили десятки тонн живого мелкого окуня, ерша, плотвы из глубоких озер восточного склона Урала в равнинные мелкие, но высоко-кормовые озера зауральской лесостепи. За лето нагула эта рыба увеличивала свою массу в 4–5 раз, обеспечивая осенью и в начале зимы прирост общего улова в среднем в 3 раза. Такая деятельность осуществлялась с 50-х годов XIX века до начала XX века. Образование подавляющего большинства озер Западносибирского пенеппена характеризуется понижением рельефа местности, с толстым слоем глинистой гидроизоляционной подложки, исключая поступление воды из недр. Питание большинства таких озер исключительно осадочного типа. В связи с этим глубина озер незначительная, в среднем от 1,5 до 3-х метров, площадь таких озер часто бывает значительной, от 1 до 100 Га. Соответственно, для развития планктона создаются исключительно благоприятные условия. Наряду с планктоном бурно развивается водная растительность, которая также является кормовой базой, но при этом

существенно изменяет газовый состав водоемов в течение всего года. Дефицит кислорода, возникающий в ночное время вследствие потребления кислорода водными растениями, а также в зимнее время, когда ледяной покров препятствует диффузии кислорода из воздуха в воду, является одной из основных проблем в рыбоводстве. В Челябинской области в связи с процессами промерзания в водоемах ежегодно гибнут тысячи тонн промысловой рыбы.

Для обеспечения условий жизни и активного питания рыбы необходима технологическая норма растворенного кислорода для форелевых 9,0-11,0г/ м<sup>3</sup>, для сиговых 12,0-15,0г/ м<sup>3</sup>. Допустимые значения для форелевых 6,0 г/м<sup>3</sup>, для сиговых 7,0 г/м<sup>3</sup>. Оптимальный температурный режим воды считается для форели 14–18<sup>0</sup>С, для сиговых 18–22<sup>0</sup>С. Современный потенциал выращивания товарных сеголетков на Урале и Западной Сибири при применении «ускоренных» технологий культивирования товарной пеляди оценивается в 10–12 тыс. тонн в год. Из-за промерзания водоемов количество крупной пеляди обычно составляет не более 10–12% от общего улова этой рыбы, а остальное составляют сеголетки.

Современный уровень исследований данной проблемы характеризуется следующим образом. Различают биологическую, химическую и механическую аэрацию. Из широкого многообразия аэраторов механическая аэрация – наиболее простой и быстрый способ аэрации, заключающийся в применении различных устройств, способствующих насыщению воды кислородом. Этот способ не вызывает побочных отрицательных эффектов в отличие, например, от химической аэрации.

Исследования, проведенные в ряде фермерских хозяйств Челябинской области, показывают, что самый экономичный способ аэрации – волновой. В настоящее время он является самым эффективным по удельной производительности: отношению абсолютной производительности кислорода к его мощности. Она составляет около 5 кг кислорода в час на 0,5 кВт мощности аэратора, что выше, чем у всех известных аналогов. Два часа работы такого аэратора фактически равны баллону чистого технического кислорода (10 кг), стоимость которого составляет 350-400 руб. За сутки экономия 12x380=4560 руб. Или за 150 зимних дней общая экономия 684000 руб. Летняя аэрация составит 20% от зимней аэрации. При этом себестоимость и монтаж аэрационных установок составила всего 180 тыс.руб.

Аэратор волнового типа, представляющий собой две и более параллельных профилированных лопасти с симметричными аэродинамическими профилями типа SRCV-2035, соединенными червячной передачей и/или линейным электродвигателем, предназначен для аэрации как летних, так и зимовальных прудов, в которых он за сезон может размывать майну размером несколько десятков метров. В зимовальном пруду его устанавливают в предварительно проделанную полынью размером не менее 4 квадратных метров. Мощность аэратора составляет не более 0,5 кВт. Производительность по кислороду зависит от площади аэратора и при минимальной комплектации достигает 5 кг О<sub>2</sub> в час.

Принцип действия устройства заключается в следующем: при подаче напряжения на электромагнит волнообразователь погружается в воду и обе лопасти начинают совершать возвратно-поступательные движения по направлению друг к другу, образуя поток, направленный вертикально в толщу воды. При этом также образуются и горизонтальные волны. Площадь поверхности воды, освобожденной ото льда, увеличивается. Ускоряется процесс инвазии (абсорбции кислорода из атмосферы в воду) и концентрация кислорода повышается. В этом случае поверхность водоема не затягивается ледяной коркой.

Однако смысл аэрации заключается не только в увеличении площади воды, контактирующей с атмосферным кислородом, но и в перемешивании внутренних слоев

воды, что приводит к погружению кислорода в нижние части водоема, обеспечивая нормальный уровень рН в придонных объемах. При слишком интенсивном развитии фитопланктона в прудах в безветренную погоду, при отсутствии перемешивания слоев воды может наблюдаться неравномерное вертикальное распределение кислорода (кислородная стратификация). У дна содержание кислорода может быть близко к нулю, а в поверхностном слое – перенасыщенным до 250–300%. Его продолжительность больше суток может приводить к заморам – гибели рыб, обусловленным образованием в придонных слоях вредных продуктов бескислородного разложения органических веществ, таких как сероводород, метан, аммиак. Поэтому применение именно волнового способа аэрации, позволяющего перемешивать слои воды, является наиболее эффективным. Волновой аэратор с потокообразователем может снизить температуру воды в озере до 2<sup>0</sup>С, что опасно только теплолюбивым породам рыб. Роду сиговых это понижение не опасно, они хорошо чувствуют себя до 0<sup>0</sup>С.

Основной проблемой использования подобных устройств является отсутствие надежной системы энергопитания привода аэратора в связи с тем, что водоемы с требуемой кормовой базой находятся вдалеке от линий электропередач, а средства бесперебойного энергоснабжения в виде дизель-генераторов и систем аккумуляирования электроэнергии не могут обеспечить постоянное круглосуточное энергетическое обеспечение такого объекта. Более того, не существует простых и надежных механизмов поддержания открытой полыньи.

С применением новейших технологий в области возобновляемой энергетики эти проблемы могут быть эффективно решены как с технической, так и с экономической точки зрения. Принципиальным для выращивания ценных пород рыб в высококормовых, но, как правило, промерзающих озерах, является совместное использование ветроэнергетической установки (ВЭУ) или гибридного ветро-солнечного энергокомплекса (ГЭК), позволяющего осуществлять полную автономную систему энергоснабжения с наиболее эффективным по удельной производительности волновым способом аэрации. Кроме этого, как будет показано ниже, от ВЭУ/ГЭК может дополнительно осуществляться энергопитание жилого или дежурного объекта рядом с водоемом – обогрев помещения до 6 квадратных метров за счет инфракрасного пленочного электронагревателя со средним энергопотреблением до 20 Вт/м<sup>2</sup>, а также освещение на основе двух светодиодных светильников мощностью 30 Вт каждый [1].

#### **Преимущества автономной системы энергопитания**

1. Комплекс является полностью автономной системой энергоснабжения, не зависящей от магистрального энергоснабжения, что чрезвычайно актуально из-за удаленности озер от линий электропередач (ЛЭП).
2. Стоимость проведения ЛЭП в большинстве случаев гораздо выше стоимости ВЭУ. Ориентировочная удельная стоимость в настоящее время ЛЭП составляет около 1 млн. руб. за погонный километр. Более того, ЛЭП нуждается в периодическом обслуживании. С другой стороны, энергокомплекс с выходным напряжением 220В и частотой 50Гц может запитать аэратор мощностью 500 Вт, обеспечивая при этом отопление и освещение мощностью не более 500 Вт и 100 Вт соответственно, создавая достаточно комфортные условия для оператора или обслуживающего водоем персонала [1]. Возможно периодическое подключение различных бытовых электроприборов и электроинструментов.
3. Стоимость электроэнергии в последние годы неукоснительно растет, и этот рост по прогнозам экспертов будет продолжаться [2].
4. Себестоимость электроэнергии, получаемой от дизель-генераторов, в последнее десятилетие сильно выросла из-за дороговизны топлива. Тенденция роста цен на топливо сохраняется.

5. При круглосуточном использовании рабочий ресурс дизельного или бензинового генератора уменьшается до 4–6 месяцев, что обуславливает дополнительный рост себестоимости процесса обеспечения энергоснабжения [3].
6. Срок эксплуатации ВЭУ и солнечных модулей (СМ) составляет минимум 20 лет, период между недорогими тех.обслуживаниями составляет около 5 лет [2].
7. ВЭУ и СМ просты в обслуживании и обеспечиваются одним работником со средним специальным техническим образованием.
8. Учитывая и используя среднюю скорость ветра в степной и лесостепной зонах 7-8 м/сек, применение ветроэнергетических установок в сочетании с солнечными модулями является самым экономичным способом получения электроэнергии для работы электроприборов. На такой скорости ветра ВЭУ обычно работают в одном из самых эффективных режимов.
9. Использование вертикально-осевых ВЭУ позволяет получать энергию даже при небольшом (до 3 м/с) ветре [3].
10. Энергия является абсолютно экологически чистой: не сжигается органическое топливо, не загрязняется водоем (нет мазутных пятен на воде), система безопасна для птиц, шум и вибрации не превышают норм.

Энергокомплекс помимо ВЭУ и СМ с соответствующими регуляторами мощности должен содержать инвертор с максимально требуемой для данного применения мощностью с целью преобразования энергии к стандартному виду 50Гц 220В. Для периода безветрия и пиковых нагрузок в ночное время желательно установить аккумуляторы соответствующей расчетной емкости в теплом помещении.

Описываемые исследования проведены в фермерском крестьянском хозяйстве Марково-1 в Челябинской области. Хозяйство имеет более чем 200 Га земли, расположенной вокруг озер, находящихся в пользовании. Уже несколько лет хозяйство занимается разведением рыбы семейства лососевых (сиг, пелядь, форель). Кормовая база таких озер позволяет получать навеску 180–240 г (для пеляди) против 90–120 г (для сига) в глубоких горных, но менее богатых кормами водоемах. Посадка форели как эффективного хищника производится для развития более ценного вида рыб на естественных кормах. Так, наличие карася в таких водоемах позволяет форели при посадке весной 200–250 г достигать 1200 г осенью.

Особенность развития этих пород рыб позволяет именно в зимнее время получать значительный прирост массы тела при благоприятном газовом составе воды, в отличие от теплолюбивых рыб, которые во время зимовки худеют. К концу октября рыба набирает 120–140 г (сиг) и 180–240 г (пелядь), но к маю месяцу следующего года вес рыбы достигает 400–500 г, и ее товарная ценность повышается минимум вдвое. В менее кормовых озерах эта навеска достигается только к осени, увеличивая срок роста на 6 месяцев.

#### **Расчет экономических показателей**

Приведем ряд экономических расчетов. При выходе 70% от зарыбленного количества по средней расчетной норме посадки в Челябинской области, осенний выход составит с гектара

$$3000 \text{ штук на Га} \times 70\% = 2100 \text{ штук} \times 130 \text{ грамм} = 273 \text{ кг} \quad (1)$$

Весенний выход составит с гектара

$$1890 \text{ штук} (2100 \times 10\% \text{ зимний отход рыбы}) \times 400 \text{ грамм} = 756 \text{ кг} \quad (2)$$

Соответственно

$$273 \text{ кг} \times 40 \text{ руб.} = 10920 \text{ руб. с Га осенью,} \quad (3)$$

$$756 \text{ кг} \times 80 \text{ руб.} = 60480 \text{ руб. с Га весной} \quad (4)$$

Примем среднюю площадь озера 25 Га. Наличие кормовой базы позволяет увеличить норму посадки в три раза, до 9000 шт/Га. При аэрации водоема летом и

зимой весенний выход составляет  $756\text{кг} \times 3 \times 25 \text{ Га} = 56700\text{кг} \times 80 \text{ руб.} = 4536000 \text{ руб.}$ , осенний выход  $273 \text{ кг} \times 3 \times 25 \text{ Га} = 20475\text{кг} \times 40 \text{ руб.} = 819000 \text{ руб.}$

Таблица 1 Общая сумма расходов проекта (разовые расходы)

Статья расходов	Сумма, руб. Р
Затраты на «зарыбление»	27000
Фонд заработной платы	280000
Отчисления от ФЗП	29700
Стоимость аэрационных установок и монтажа	180000
Приобретение энергокомплекса и другого оборудования: - ветроэнергетическая установка 3 кВт – 280000 руб. - солнечные модули 1 кВт – 108000 руб. - освещение светодиодное 500 Вт – 15000 руб. - пленочный ИК электронагреватель 500 Вт – 25000 руб.	428000
Транспорт рыбного материала	17000
Хранение рыбного материала	22000
Итого в целом разовые расходы:	983700

Таблица 1 расходов проекта составлена из расчета того, что энергокомплекс, состоящий из ВЭУ и СМ установленной мощностью 3 и 1 кВт соответственно вырабатывает на умеренных ветрах 4-5 м/с электроэнергию в объеме 12 кВт-ч в сутки, что достаточно для энергоснабжения вышеупомянутых электроприборов, включая аэратор.

Таблица 2 реализации проекта и его итоговый доход в течение хода проекта составлена на основе предыдущих вычислений:

Таблица 2 Доход от проекта

Статья доходов	Сумма, руб. Р
Весенний выход рыбного материала	4536000
Осенний выход рыбного материала	819000
Итого за 1 год:	5355000

### Выводы

Промерзающие водоемы с применением аэрации волнового типа являются одним из наиболее экономически выгодных вариантов для организации рыбного хозяйства в связи с наличием хорошей кормовой базы.

Сравнение таблиц показывает, что за 1 год оборудование по аэрации на основе возобновляемых источников энергии окупается пятикратно, следовательно, срок окупаемости составляет менее 2 месяцев.

### Литература

- [1] Соломин, Е.В. Сопряжение ВЭУ малой мощности с пленочным электронагревателем для обогрева помещений / И.М. Кирпичникова, И.Н. Панасюк, Е.В. Соломин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – Вып.12. – №34. – С.78–81.
- [2] Соломин, Е.В. Экономические аспекты внедрения ветроэнергетических установок / Е.В. Соломин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – Вып.14, 20(196). С.32–36.

[3] Соломин, Е.В. Перспективы использования малых ветроэнергетических установок в агропромышленном комплексе / Е.В. Соломин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Москва. – 2011. – Вып. 7. С.12–15.

#### Сведения об авторах



**Соломин Евгений Викторович**, доцент кафедры «Электротехника и возобновляемые источники энергии» Южно-Уральского государственного университета, доктор технических наук. Область научных интересов – ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии.

Контактный адрес: Россия, г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, E-mail: [nii-uralmet@mail.ru](mailto:nii-uralmet@mail.ru)



**Сироткин Евгений Анатольевич**, магистрант кафедры «Электротехника и возобновляемые источники энергии» Южно-Уральского государственного университета, бакалавр техники и технологии, область научных интересов – возобновляемые источники энергии, электротехника, ветроэнергетика, аэродинамика, машиностроение.

Контактный адрес: Россия, г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, E-mail: [ea.sirotkin@gmail.com](mailto:ea.sirotkin@gmail.com)



**Соломин Евгений Евгеньевич**, аспирант кафедры «Электротехника и возобновляемые источники энергии» Южно-Уральского государственного университета, область научных интересов – возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, солнечная энергетика.

Контактный адрес: Россия, г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, E-mail: [JohnnyS2007@mail.ru](mailto:JohnnyS2007@mail.ru)