

В. В. Слабунов, А. А. Кириленко, О. В. Воеводин

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОРОШЕНИЯ

Цель: оценка технологических и нормативно-технических возможностей разработки и применения комплексов энергообеспечения, использующих энергию водного потока, применительно к российским стандартам для обеспечения потребностей в электроэнергии децентрализованных мелиоративных (оросительных) систем. **Материалы и методы.** В качестве исходных данных использовались научные и технические материалы российских и зарубежных авторов, а также нормативно-техническая база РФ. Методами обработки информации являлись сравнение, аналогия, классификация и систематизация. **Результаты и обсуждение.** Среди различных конструктивных особенностей рассматриваемого гидроэнергетического оборудования, способного обеспечить локальные потребности в электроэнергии и в то же время имеющего возможность сочетания с элементами оросительной сети (исходя из относительных габаритов, формы, КПД и т. д.), выделяются микроГЭС: с пропеллерной, радиально-осевой, осевой и капсульной гидравлической турбиной. Наиболее эффективными схемами установки гидротурбин являются горизонтальная прямоточная и вертикальная Z-образная. Анализ реестра стандартов в сфере технического регулирования в области гидроэнергетики показал, что из 131 рассматриваемого стандарта 106 могут быть частично применены к микроГЭС. Обеспечение объектов гидроэнергетики малой мощности документацией по стандартизации имеет приоритет в сторону эксплуатации (21 %), мониторинга и контроля состояния (19 %), а также ремонта и реконструкции (19 %). **Выводы.** Функционирование микроГЭС на основе энергии движения воды предусматривает использование набора конструктивных решений, который требует дополнительной проработки в целях привязки к элементам мелиоративных (оросительных) систем. Область действия рассмотренных документов по стандартизации может быть распространена на объекты малой гидроэнергетики с учетом специфических особенностей их эксплуатации. В связи с этим возникает необходимость в разработке научно обоснованных положений действующих или разрабатываемых нормативных документов.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; гидроэнергетика; освоение территории; микроГЭС; орошение; гидроэлектростанция; эффективность водопользования.

V. V. Slabunov, A. A. Kirilenko, O. V. Voyevodin

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ON ISSUE OF USING MICROHYDROPOWER PLANTS FOR IRRIGATION PURPOSES

Purpose: to assess the technological and regulatory and technical capabilities of developing and applying power supply complexes using the energy of water flow, in relation to



Russian standards to meet the electricity needs of decentralized reclamation (irrigation) systems. **Materials and methods.** Scientific and technical materials of Russian and foreign authors, as well as the regulatory and technical base of the Russian Federation were used as the initial data. The information processing methods were comparison, analogy, classification and systematization. **Results and discussion.** Among various design features of the hydropower equipment under consideration, capable of meeting local needs for electricity and at the same time having the ability to combine with elements of an irrigation network (based on relative dimensions, shape, efficiency, etc.), micro-hydroelectric power plants stand out: with propeller, radial axial, axial and capsule hydraulic turbine. The most effective schemes for installing hydraulic turbines are horizontal direct-flow and vertical Z-shaped ones. Analysis of the register of standards in the field of technical regulation in the sphere of hydropower showed that out of 131 standards under consideration, 106 can be partially applied to micro hydropower plants. Providing low-power hydropower facilities with standardization documentation has a priority in the direction of operation (21 %), monitoring and state control (19 %), and repair and reconstruction (19 %). **Conclusions.** The functioning of a micro-hydroelectric power station based on the energy of water movement provides for the use of a set of design solutions, which requires additional study in order to be linked to the elements of reclamation (irrigation) systems. The scope of the considered standardization documents can be extended to small hydropower facilities, taking into account the specific features of their operation. In this regard, there is a need for the development of scientifically grounded provisions of existing or being developed regulatory documents.

Key words: renewable energy sources; hydropower; development of the territory; micro hydroelectric power station; irrigation; hydropower; water use efficiency.

Введение. Современный уровень социально-экономического развития и многофакторный подход к сельскохозяйственному производству так или иначе не исключает незначительных флуктуаций темпа и направления течения его процессов, зачастую приводя к снижению качества и количества выпускаемой сельхозпродукции [1]. В России одним из способов повышения экономической составляющей сельского хозяйства может послужить привлечение дополнительных сельскохозяйственных площадей [2–4], что отвечает положениям будущей госпрограммы Минсельхоза России по развитию мелиоративного комплекса [5].

К числу основных проблем умножения орошаемых сельскохозяйственных земель на территории России относят преодоление инфраструктурных сложностей сельскохозяйственного освоения и мелиорации земель [6, 7]. Многие районы не обеспечены возможностью подключения к централизованной системе электроснабжения, что обуславливает трудности в проведении организационно-хозяйственных и технических мероприятий орошаемого земледелия. Указанные обстоятельства вызывают

необходимость использования альтернативных источников энергии, что актуально как в части реализации положений № Пр-837 «Перечень поручений по итогам совещания по вопросам развития энергетики», Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...», так и при переходе к экологически чистому устойчивому энергообеспечению.

В настоящее время многими учеными-мелиораторами подтверждается перспективность и экономическая обоснованность использования энергии водного потока для выработки электрической энергии с помощью автономного комплекса энергообеспечения – микрогидроэлектростанций (микроГЭС) [8–12]. Так, В. Н. Щедриным и соавторами [9] отмечается, что «...микроГЭС может быть не только источником электроэнергии для работы насосных станций оросительных систем, но и прямым приводом различных дождевальными машин». Устройство автономных энергоагрегатов возможно при условии перепада уровней воды от 2 м и более, что является атрибутом для строительства деривационных систем, обеспечивающих функциональность автономного гидроэнергетического оборудования. В свою очередь, перепад уровней воды можно заметить на регулирующих, сопрягающих, сбросных и водоподводящих гидротехнических сооружениях, а также на территориях горной и предгорной местности, которые, как правило, не вовлечены в сельскохозяйственный оборот по указанным причинам.

В соответствии с этим целью настоящего исследования является оценка технологических и нормативно-технических положений для дальнейшего применения, конструирования (разработки) комплексов энергообеспечения, использующих энергию движения воды, применительно к российским стандартам для обеспечения потребностей в электроэнергии децентрализованных мелиоративных (оросительных) систем.

Использование автономного комплекса энергообеспечения позволит создать необходимые условия для освоения и развития сельскохозяйствен-

ных территорий без инфраструктуры электроснабжения, будет способствовать снижению затрат на эксплуатацию дождевальной техники и в целом повышению энергетической безопасности страны [9–12].

Материалы и методы. Проведенный теоретический анализ научной литературы по теме использования альтернативных источников энергоресурсов для целей орошения дождеванием сельскохозяйственных культур [13] и последующие патентные исследования в области конструирования (разработки) микроГЭС [14] позволили сузить круг потенциально «выгодных» видов гидроэнергетических установок, способных обеспечить работу оросительных систем.

Учитывая конвергентную составляющую темы исследования и системный подход к ее изучению, в настоящей работе сделали попытку более глубокого рассмотрения функциональных и конструктивных характеристик микроГЭС. Путем сравнения, аналогии, классификации и систематизации научной и технической литературы определили главные характеристики, достоинства, недостатки, а также области применения основных составляющих элементов объекта исследования – микроГЭС. К тому же, анализируя нормативно-техническую базу РФ в области гидроэнергетики, установили существующее обеспечение малой гидроэнергетики документацией по стандартизации в разрезе основных направлений функционирования гидроэлектростанций (ГЭС).

Результаты и обсуждение. Вопрос успешной функциональной интеграции гидроэнергетического оборудования с элементами оросительных систем прежде всего требует тщательной проработки технической составляющей, а именно конструктивных решений. В наших прошлых исследованиях [15] рассматривалась общая классификация микроГЭС по трем отличительным признакам: условиям водного напора, способу подвода водного потока к гидроагрегату и конструктивным принципам гидравлической турбины. В настоящий момент встает вопрос об энергообеспечиваю-

щей перспективе использования того или иного вида гидроэнергетической установки.

Среди многочисленного разнообразия компонентов оборудования гидроэнергетических установок принято выделять четыре основных группы, различающихся по функциональному назначению [16]: а) гидросиловое оборудование, б) электрические устройства, в) механическое и г) вспомогательное оборудование. Компоненты группы гидросилового оборудования являются одними из ключевых и первостепенных при разработке любого проекта микроГЭС, причем наибольшей специфичностью отличаются гидравлические турбины.

На практике гидротурбины в зависимости от характера передачи энергии водного потока рабочим органом подразделяются на активные и реактивные [17]. Принятая градация предусматривает использование турбин при низком и высоком давлении, при этом реактивные турбины применяют при низком давлении, активные – при высоком.

Расположение вращающего вала гидротурбины относит ее конструкцию к одному из следующих видов: при расположении вертикально – к вертикальному, при расположении горизонтально – к горизонтальному. Помимо вышеуказанного, применение того или иного типа гидравлических турбин зависит от отношения трех факторов [18–20]: а) гидростатического напора, б) требуемой мощности и в) скорости вращения гидротурбины.

В целом все многообразие гидротурбин возможно привести к одной общей классификации [16–27], учитывающей конструктивные особенности и методы регулирования расхода воды и мощности турбин (рисунок 1).

В условиях невысокого гидростатического напора воды и небольшой вырабатываемой мощности гидроагрегатов микроГЭС в рамках ее применения предусмотрена ограниченная номенклатура реактивных турбин. Большинство авторов сходится во мнении, что основными распространенными типами гидротурбин, которые целесообразно применять на мик-

роГЭС, являются пропеллерные¹ [17, 23, 24], радиально-осевые [17, 23], осевые¹ [17] и капсульные турбины с вертикальной и горизонтальной вариациями установки [23, 24].

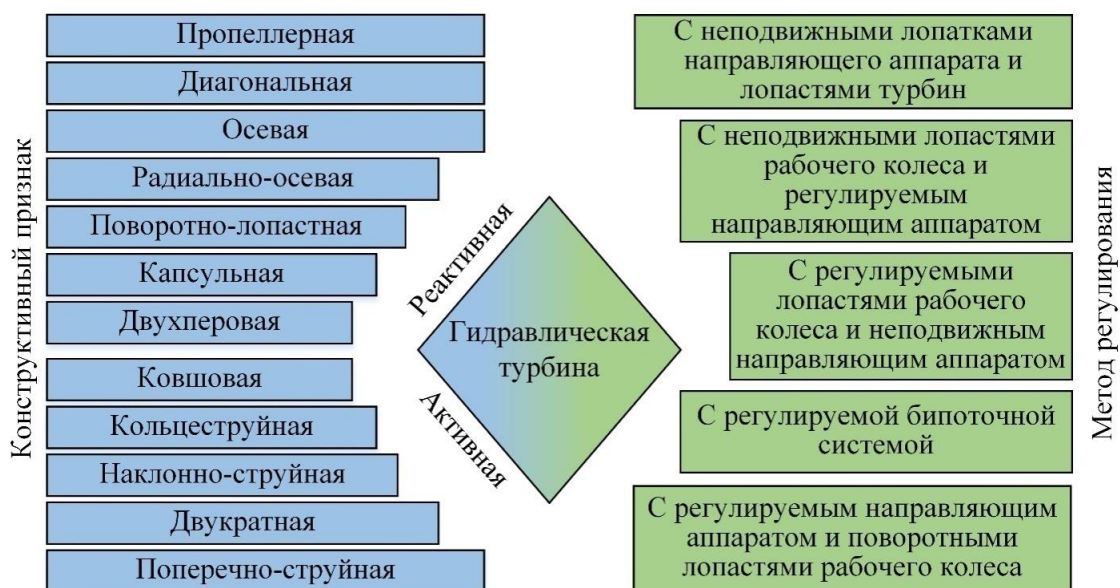


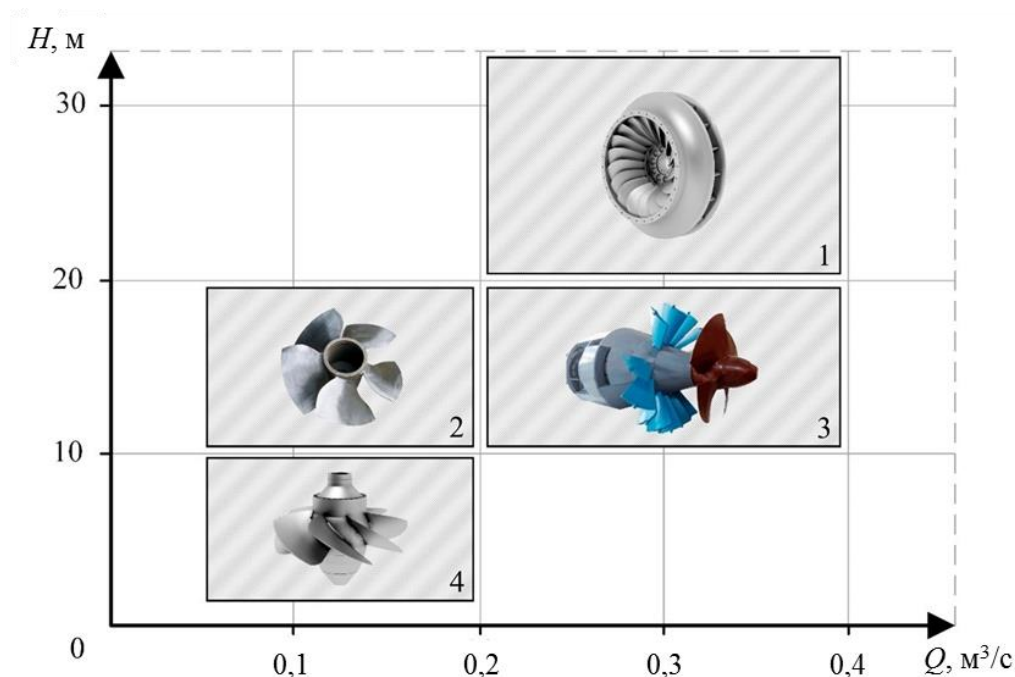
Рисунок 1 – Классификация гидротурбин по конструктивному признаку, методу регулирования расхода воды и мощности гидротурбин

Вырабатываемая мощность той или иной гидравлической турбины зависит от отношения двух факторов – пропускаемого расхода воды (Q) и ее напора (H) [17, 22, 24]. Соответственно, отношение характеристик Q и H той или иной гидротурбины устанавливает диапазоны водного расхода и его напора [20, 28, 29] (рисунок 2).

В зависимости от исходных гидрологических характеристик, в соответствии с рисунком 2, возможно определиться с выбором гидротурбины для микроГЭС, используемой для целей орошения. Например, расход воды для дождевальная машины «Днепр» составляет $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$, что входит в пределы характеристик осевой и пропеллерной гидротурбин; расход во-

¹ Разработка научно-технических и технологических основ проектирования, создания, исследования и испытания головного образца агрегата микроГЭС на сверхнизкие напоры с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии: отчет о НИР (заключ.) / ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»; рук.: Елистратов В. В. – СПб., 2012. – 149 с. – Исполн.: Елистратов В. В. [и др.]. – № ГР 01201175622. – Инв. № 16516116107.

ды у дождевальнoй машины «Кубань-Л» доходит до отметки в 0,2 м³/с, после которой следует использовать радиально-осевую и капсульную гидротурбины. Однако после выбора вида гидротурбины последует вопрос о способе (схеме) ее расположения: вертикально, горизонтально или в свободнопоточной конструкции?



1 – радиально-осевая; 2 – осевая; 3 – капсульная; 4 – пропеллерная

Рисунок 2 – Применение гидравлических турбин при различных диапазонах напоров и расходов воды

Для ответа на вышеуказанный вопрос необходимо прибегнуть к сравнительному методу, подробно рассматривая основные показатели гидравлических турбин в зависимости от схемы их установки [22, 28–30] (таблица 1).

Таблица 1 – Способы установки гидравлических турбин и их основные характеристики

Показатель	Вертикальная		Горизонтальная		Свободно-поточная
	Z-образная	со спиральной камерой	S-образная	прямоточная	
Металлоемкость, кг/кВт	16	23	20	12	34
Относительный габарит, м	0,27	1,35	2,40	0,23	1,30
КПД агрегата, %	91	89	92	93	35

Сравнительная оценка возможностей применения микроГЭС со свободнопоточными гидротурбинами показывает, что существенным недостатком этих турбин является низкий коэффициент полезного действия (КПД). К тому же такая установка имеет высокую металлоемкость, сложности в монтаже и ремонте [30]. Указанные факты на настоящий момент не позволяют рассматривать это направление преобразования энергии водного потока в электроэнергию как перспективное.

Подвергая анализу показатели таблицы 1, возможно определить, что характеристики относительных габаритов, КПД и металлоемкости отличаются наибольшей эффективностью для прямоточной гидравлической турбины с горизонтальной схемой установки. На втором месте, исходя из лучших показателей, находится вертикальная Z-образная схема установки, наименее подходящий вид конструкции – свободнопоточная.

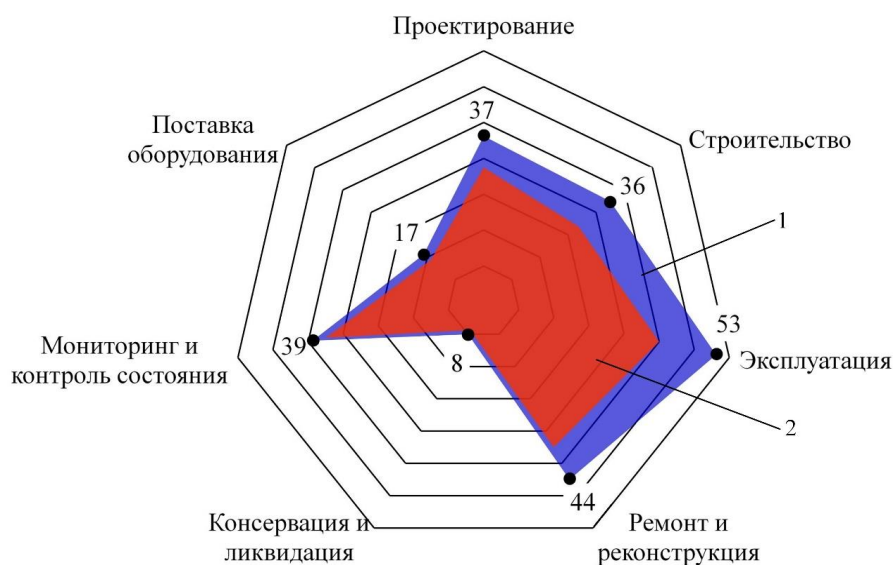
Следующим вопросом на пути рассмотрения возможностей разработки и эксплуатации микроГЭС является анализ нормативно-технической литературы РФ в области гидроэнергетики и ее применимость с учетом специфических особенностей гидротехнических установок малой мощности. Основанием для этого является то, что при проектировании, строительстве и эксплуатации ГЭС необходимо осуществлять дифференцируемый подход к общим вопросам технического регулирования.

Нынешние тенденции на пути стратегии устойчивого развития в РФ все большее предпочтение отдают возобновляемым источникам энергии, в т. ч. ГЭС. Непосредственной разработкой и внедрением технологий данного направления занимается определенный пул компаний: РАО «ЕЭС России», НП «ИНВЭЛ» и ОАО «РусГидро» [9]. Проследить деятельность указанных организаций в области стандартизации и технического регулирования возможно на электронном ресурсе ассоциации «Гидроэнергетика России» [31].

Изучая реестр стандартов ассоциации «Гидроэнергетика России»

в сфере технического регулирования, необходимо отметить, что большинство стандартов не способно учесть все возможные конструктивные решения и особенности эксплуатации конкретной ГЭС. В этих целях в установленном порядке разрабатываются и вводятся локальные стандарты организации. На основании этого из 131 рассматриваемого стандарта 106 могут быть частично использованы для объектов гидроэнергетики малой мощности.

По результатам анализа реестра стандартов также была проведена дифференциация области их применения. Таким образом, нормативно-техническую документацию (НТД) удалось разделить на семь направлений ее обеспечения: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт и реконструкция, консервация и ликвидация, мониторинг и контроль состояния, поставка оборудования (рисунок 3).



1 – НТД в области гидроэнергетики, шт.; 2 – НТД в области малой гидроэнергетики, шт.

Рисунок 3 – Обеспеченность направлений нормативно-технического регулирования в области гидроэнергетики

Анализируя данные рисунка 3, можно сделать вывод, что существующее обеспечение НТД по основным направлениям функционирования малой гидроэлектроэнергетики имеет приоритет в сторону эксплуатации (21 %), ремонта и реконструкции (19 %), а также мониторинга и контроля состояния (19 %). Из числа 106 рассмотренных стандартов наименее количе-

ственно представлены направления поставки оборудования (8 %), а также консервации и ликвидации (4 %).

Выводы

1 Совместная работа оросительной системы и гидроэнергетического оборудования с технологической стороны предусматривает максимальное сочетание уже имеющихся и зарекомендовавших себя конструкций. К такому типу установок относят горизонтальную прямоточную и вертикальную Z-образную микроГЭС. Среди гидравлических турбин, исходя из расхода и напора воды, на микроГЭС целесообразно устанавливать пропеллерные, радиально-осевые, осевые и капсульные турбины. Для обеспечения достижения необходимой мощности также возможно сочетание различных видов и групп оборудования.

2 Привязка микроГЭС непосредственно к естественному водотоку (река, ручей и т. п.) в конструктивном плане будет иметь свои отличия, что потребует дополнительной проработки технологических и технических составляющих.

3 Отсутствие в РФ законодательства о малой энергетике требует разработки новых или доработки (актуализации) существующих нормативных документов, которые будут отвечать потребностям внедрения и использования технологий малой гидроэнергетики. В целом так или иначе область распространения большинства рассмотренных действующих нормативных документов может быть распространена на объекты малой гидроэнергетики, в частности микроГЭС. Условием для этого является учет специфических для этих электростанций особенностей их эксплуатации. Однако, ввиду отсутствия конкретики и четкого руководства для объектов малой гидроэнергетики, встает вопрос о проектно-нормативной обоснованности существующих разработок.

Список использованных источников

1 Пошкус, Б. И. Три проблемы сельского хозяйства России / Б. И. Пошкус // Экономика сельского хозяйства России. – 2010. – № 5. – С. 20–27.

2 Грязина, М. А. Процесс ввода в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель на территории Тюменской области / М. А. Грязина // Научные исследования и разработки молодых ученых для развития АПК: сб. науч. тр. по материалам LX Науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения Ю. К. Неумывакина. – М., 2018. – С. 51–54.

3 Купряшина, Д. С. Введение в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель на территории Пензенской области / Д. С. Купряшина, Р. А. Евсеева, Е. П. Тюкленкова // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 8. – С. 154–157.

4 Липски, С. А. Комплексный подход к вовлечению в сельскохозяйственное производство неиспользуемых земель / С. А. Липски // Никоновские чтения. – 2017. – № 22. – С. 243–246.

5 Об утверждении государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса: проект Минсельхоза России от 31 декабря 2019 г.: по состоянию на 9 января 2020 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2020.

6 Птушкин, Д. А. Проблемы введения в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения / Д. А. Птушкин // Научные исследования и разработки молодых ученых для развития АПК: сб. науч. тр. по материалам LXII Науч.-практ. конф., посвящ. 240-летию основания ГУЗ. – М., 2020. – С. 149–152.

7 Левитанус, Б. А. Проблемы вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения / Б. А. Левитанус // Colloquium-journal. – 2019. – № 20-5(44). – С. 18–21.

8 Perspectives of small-scale hydropower generation using irrigation water in Japan / T. Ueda, M. Goto, A. Namihira, Y. Hirose // JARQ – Japan Agricultural Research Quarterly. – 2013. – № 2(47). – P. 135–140. – DOI: 10.6090/jarq.47.135.

9 Оценка перспектив использования малой гидроэнергетики на оросительных системах для обеспечения внутрисистемных потребностей в электроэнергии / В. Н. Щедрин, Д. В. Бакланова, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 160–178. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=290>.

10 Бондаренко, В. Л. Оценка перспектив использования возобновляемых источников энергии на базе малой гидроэнергетики в Ростовской области / В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, А. В. Алиферов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 3(23). – С. 166–184. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1104>.

11 Моделирование использования энергетического потенциала водных ресурсов деривационной оросительной системы / С. М. Васильев, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 112–130. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=932>.

12 Small hydropower plants in Serbia: hydropower potential, current state and perspectives / M. Panic, M. Urosev, A. M. Pesic, J. Brankov, Z. Bjeljic // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 23. – P. 341–349. – DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.016.

13 Кириленко, А. А. О применимости микроГЭС для целей орошения дождеванием сельскохозяйственных культур / А. А. Кириленко, В. В. Слабунов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 1(77). – С. 108–111.

14 Слабунов, В. В. Направления конструирования инновационного комплекса автономного энергообеспечения для дождевальных машин / В. В. Слабунов, А. А. Кириленко, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 3(79). – С. 142–145.

15 Воеводин, О. В. Вопросы энергоэффективности и энергосбережения в мелио-

ративном комплексе: иерархическая классификация микрогидроэлектростанций / О. В. Воеводин, В. В. Слабунов, А. А. Кириленко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2020. – № 3(39). – С. 224–240. – Режим доступа: <http://rosniiprm-sm.ru/article?n=1148>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-224-240.

16 Бляшко, Я. И. Типовые решения для оборудования малых ГЭС / Я. И. Бляшко // Гидротехника. – 2019. – № 2(55). – С. 55–59.

17 Пантелеева, Л. А. Выбор двигателя для микроГЭС / Л. А. Пантелеева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 2(23). – С. 9–13.

18 Картанбаев, Б. А. Руководство по строительству и эксплуатации микрогидроэлектростанций / Б. А. Картанбаев, К. А. Жумадилов, А. А. Зазульский. – Бишкек: ДЭМИ, 2011. – 57 с.

19 Лукутин, Б. В. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций: монография / Б. В. Лукутин, С. Г. Обухов, Е. Б. Шандарова. – Томск, 2001. – 104 с.

20 О выборе типа микроГЭС и ее оптимальной мощности в зависимости от гидрологических параметров / Е. А. Спиринов, А. А. Никитин, М. П. Головин, А. Л. Востовский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4(36). – С. 109–116.

21 Умбетов, Е. С. Анализ классификации конструкции микро-ГЭС / Е. С. Умбетов, Ш. К. Шоколакова // Промышленный Казахстан [Электронный ресурс]. – 2014. – № 1. – Режим доступа: <http://cawater-info.net/bk/dam-safety/files/umbetov-shokolakova.pdf>.

22 Липкин, В. И. Микрогидроэлектростанции: пособие по применению / В. И. Липкин, Э. С. Богомаев. – Бишкек, 2007. – 30 с.

23 Тремясов, В. А. Фотоэлектрические и гидроэнергетические установки в системах автономного энергоснабжения: монография / В. А. Тремясов, К. В. Кенден. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.

24 Гидроэлектростанции малой мощности: учеб. пособие / под ред. В. В. Елистратова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – 432 с.

25 Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики [Электронный ресурс] / С. Г. Плачкова [и др.]. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>, 2020.

26 Баклин, А. А. Преимущества и принцип работы микрогидроэлектростанции / А. А. Баклин, Ю. В. Агафонова // Современные проблемы развития техники и технологий: сб. тр. конф. – Пенза: Пенз. гос. технол. ун-т, 2016. – С. 195–198.

27 Junaidi. Irrigation water debit analysis that will be used on micro power plant in SEI. Rampah Sub-District of Serdang Bedagai Regency / Junaidi, Weriono, I. Roza // International Journal of Innovative Science and Research Technology. – 2018. – № 1(3). – P. 311–317.

28 Барлит, В. В. Гидравлические турбины: учеб. пособие / В. В. Барлит. – Киев: Вища школа, 1977. – 360 с.

29 Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции: учеб. пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.

30 Доржиев, С. С. Свободнопоточная микроГЭС с ускорителем потока / С. С. Доржиев, Е. Г. Базарова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3(8). – С. 77–80.

31 Ассоциация «Гидроэнергетика России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hydropower.ru>, 2020.

References

1 Poshkus B.I., 2010. *Tri problemy sel'skogo khozyaystva Rossii* [Three problems of agriculture in Russia]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Russian Agricultural Economics], no. 5, pp. 20-27. (In Russian).

2 Gryazina M.A., 2018. *Protsess vvoda v oborot neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemel' na territorii Tyumenskoj oblasti* [The process of putting into circulation

unused agricultural land in Tyumen region]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh dlya razvitiya APK: sb. nauchnykh trudov po materialam LX Nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu so dnya rozhdeniya Yu. K. Neumyvakina* [Research and Development of Young Scientists for the Development of Agro-industrial Complex: Proc. LX Scientific-Practical Conference Dedicated to the 85th Anniversary of the Birth of Yu. K. Neumyvakin]. Moscow, pp. 51-54. (In Russian).

3 Kupryashina D.S., Evseeva R.A., Tyuklenkova E.P., 2018. *Vvedenie v oborot neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemel' na territorii Penzenskoy oblasti* [Introduction of unused agricultural land in Penza region]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments], no. 8, pp. 154-157. (In Russian).

4 Lipsky S.A., 2017. *Kompleksnyy podkhod k vovlecheniyu v sel'skokhozyaystvennoe proizvodstvo neispol'zuemykh zemel'* [An integrated approach to the involvement of unused land in agricultural production]. *Nikonovskie chteniya* [Nikonov Readings], no. 22, pp. 243-246. (In Russian).

5 *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy effektivnogo vovlecheniya v oborot zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i razvitiya meliorativnogo kompleksa* [On the approval of the state program for the effective involvement of agricultural land in circulation and the development of a reclamation complex]. The project of the Ministry of Agriculture of Russia on December 31, 2019, as of January 9, 2020. (In Russian).

6 Ptushkin D.A., 2020. *Problemy vvedeniya v oborot neispol'zuemykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Problems of introducing unused agricultural land into turnover]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh dlya razvitiya APK: sb. nauchnykh trudov po materialam LXII Nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 240-letiyu osnovaniya GUZ* [Scientific Research and Development of Young Scientists for Developing Agro-Industrial Complex: Proc. of LXII Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 240th Anniversary of GUS]. Moscow, pp. 149-152. (In Russian).

7 Levitanus B.A., 2019. *Problemy vovlecheniya v khozyaystvennyy oborot neispol'zuemykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Problems of involving unused agricultural lands in the economic turnover]. *Colloquium-Journal*, no. 20-5(44), pp. 18-21. (In Russian).

8 Ueda T., Goto M., Namihira A., Hirose Y., 2013. Perspectives of small-scale hydropower generation using irrigation water in Japan. *JARQ – Japan Agricultural Research Quarterly*, no. 2(47), pp. 135-140, DOI: 10.6090/jarq.47.135.

9 Shchedrin V.N., Baklanova D.V., Bondarenko V.L., Lobanov G.L., 2017. [Assessment of prospects of using small hydropower on irrigation systems to meet the internal needs for electricity]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(27), pp. 160-178, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=290>. (In Russian).

10 Bondarenko V.L., Lobanov G.L., Aliferov A.V., 2016. [Assessment of the prospects for the use of renewable energy sources based on small hydropower in Rostov region]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(23), pp. 166-184, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1104>. (In Russian).

11 Vasiliev S.M., Bondarenko V.L., Lobanov G.L., Baklanova D.V., 2018. [Modeling the use of the energy potential of water resources of the diversion irrigation system]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(30), pp. 112-130, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1104>. (In Russian).

12 Panic M., Urosev M., Pesic A.M., Brankov J., Bjeljic Z., 2013. Small hydropower plants in Serbia: hydropower potential, current state and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 341-349, DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.016.

13 Kirilenko A.A., Slabunov V.V., 2020. *O primenimosti mikroGES dlya tseley orosheniya dozhdevaniem sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [On the applicability of microhydroelectric power plants for the purposes of sprinkling irrigation of agricultural crops]. *Puti*

povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(77), pp. 108-111. (In Russian).

14 Slabunov V.V., Kirilenko A.A., Voevodin O.V., 2020. *Napravleniya konstruirovaniya innovatsionnogo kompleksa avtonomnogo energoobespecheniya dlya dozhdval'nykh mashin* [Directions of designing an innovative complex of autonomous power supply for sprinkler machines]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(79), pp. 142-145. (In Russian).

15 Voevodin O.V., Slabunov V.V., Kirilenko A.A., 2020. [Issues of energy efficiency and energy saving in the reclamation complex: hierarchical classification of microhydroelectric power plants]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(39), pp. 224-240, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1148>, DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-224-240. (In Russian).

16 Blyashko Ya.I., 2019. *Tipovye resheniya dlya oborudovaniya malyykh GES* [Typical solutions for the equipment of small hydroelectric power plants]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics], no. 2(55), pp. 55-59. (In Russian).

17 Panteleeva L.A., 2010. *Vybor dvigatelya dlya mikroGES* [Choice of an engine for micro hydroelectric power plants]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bull. of Izhevsk State Agricultural Academy], no. 2(23), pp. 9-13. (In Russian).

18 Kartanbaev B.A., Zhumadilov K.A., Zazulsky A.A., 2011. *Rukovodstvo po stroitel'stvu i ekspluatatsii mikrogidroelektrostantsiy* [Guide to the Construction and Operation of Microhydropower Plants]. Bishkek, DEMI Publ., 57 p. (In Russian).

19 Lukutin B.V., Obukhov S.G., Shandarova E.B., 2001. *Avtonomnoe elektrosnabzhenie ot mikrogidroelektrostantsiy: monografiya* [Autonomous Power Supply From Microhydroelectric Power Plants: monograph]. Tomsk, 104 p. (In Russian).

20 Spirin E.A., Nikitin A.A., Golovin M.P., Vstovsky A.L., 2012. *O vybore tipa mikroGES i ee optimal'noy moshchnosti v zavisimosti ot gidrologicheskikh parametrov* [On the choice of the type of micro-hydroelectric power station and its optimal capacity depending on hydrological parameters]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], no. 4(36), pp. 109-116. (In Russian).

21 Umbetov E.S., Shokolakova Sh.K., 2014. *Analiz klassifikatsii konstruksii mikroGES* [Analysis of classification of the structure of micro-hydroelectric power plants]. *Promyshlennyy Kazakhstan* [Industrial Kazakhstan], no. 1, available: <http://cawater-info.net/bk/dam-safety/files/umbetov-shokolakova.pdf>. (In Russian).

22 Lipkin V.I., Bogomaev E.S., 2007. *Mikrogidroelektrostantsii: posobie po primeneniyu* [Microhydroelectric Power Plants: Guide to Application]. Bishkek, 30 p. (In Russian).

23 Tremasov V.A., Kenden K.V., 2017. *Fotoelektricheskie i gidroenergeticheskie ustanovki v sistemakh avtonomnogo energosnabzheniya: monografiya* [Photovoltaic and Hydropower Plants in Autonomous Power Supply Systems: monograph]. Krasnoyarsk, Sib. Federal University, 208 p. (In Russian).

24 Elistratova V.V., 2005. *Gidroelektrostantsii maloy moshchnosti: ucheb. posobie* [Hydroelectric Power Plants of Low Power: textbook]. Saint Petersburg, Polytechnical University Publ., 432 p. (In Russian).

25 Plachkova S.G. [et al.], 2020. *Razvitie teploenergetiki i gidroenergetiki* [Development of Heat and Hydropower Engineering], available: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>. (In Russian).

26 Baklin A.A., Agafonova Yu.V., 2016. *Preimushchestva i prinzip raboty mikrogidroelektrostantsii* [Advantages and operation of microhydroelectric power plant]. *Sovremennye problemy razvitiya tekhniki i tekhnologii: sb. tr. konf.* [Current Problems of Development of Technics and Technologies: Proc.]. Penza, Penza State Technological University, pp. 195-198. (In Russian).

27 Junaidi, Weriono, Roza I., 2018. Irrigation water debit analysis that will be used on micro power plant in SEI Rampah SubDistrict of Serdang Bedagai Regency. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, no. 1(3), pp. 311-317.

28 Barlit V.V., 1977. *Gidravlicheskie turbiny: uchebnoe posobie* [Hydraulic Turbines: textbook]. Kiev, Vysshaya Shkola Publ., 360 p. (In Russian).

29 Bryzgalov V.I., Gordon L.A., 2002. *Gidroelektrostantsii: uchebnoe posobie* [Hydroelectric Power Plants: textbook]. Krasnoyarsk, IPC KSTU Publ., 541 p. (In Russian).

30 Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., 2014. *Svobodnopotchnaya mikroGES s uskoritelem potoka* [Free-flow micro-hydroelectric power station with flow accelerator]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve* [Innovations in Agriculture], no. 3(8), pp. 77-80. (In Russian).

31 Assotsiatsiya "Gidroenergetika Rossii" [Association "Hydrology"], available <http://www.hydropower.ru> [accessed 2020]. (In Russian).

Слабунов Владимир Викторович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Slabunov Vladimir Viktorovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Кириленко Андрей Андреевич

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Kirilenko Andrey Andreyevich

Position: Junior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Воеводин Олег Владимирович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodin Oleg Vladimirovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.08.2020

После доработки 30.09.2020

Принята к публикации 16.10.2020