МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 621.311:631.67

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-111-125

Автономное энергетическое обеспечение дождевальной техники посредством использования микрогидроэлектростанции

Владимир Викторович Слабунов¹, Андрей Андреевич Кириленко²,
Олег Владимирович Воеводин³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹slabunovvv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0150-5193>

²andreykirilenko96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-3774>

³vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Аннотация. Цель: оценка потенциала функционального внедрения микрогидроэлектростанции в конструктивный состав дождевальной машины для обеспечения внутрисистемных потребностей в электрической энергии. **Материалы и методы:** исследование проводилось на основе примера расчета установки микрогидроэлектростанции А. Г. Черных и формул, представленных в справочнике по гидравлике. Для построения уравнения множественной регрессии использовали метод решения через обратную матрицу. Расчет экономической эффективности микрогидроэлектростанции осуществляли с помощью методики технико-экономического анализа возможных вариантов электрификации С. Г. Обухова. **Результаты и обсуждение:** по итогам проведения поверочных энергетических расчетов эффективная мощность на валу гидротурбины при средних технических параметрах низконапорных дождевальных машин составила 1,202–15,648 кВт. При этом привязка работы микрогидроэлектростанции к оросительным системам территории Северного Кавказа имеет потенциал в получении 2596,32–33799,68 кВт вырабатываемой электроэнергии в год при себестоимости 1 кВт·ч 0,6204 руб. **Выводы:** внедрение микрогидроэлектростанции в конструктивный состав дождевальной техники обеспечит возможность получения электроэнергии в пределах имеющихся гидравлических характеристик. С учетом этого для работы гидроэнергетического оборудования необходимо наличие или создание дополнительного напора воды. Полученное на основе поверочных расчетов параметров энергетического блока микрогидроэлектростанции уравнение множественной регрессии показало, что увеличение напора воды на 1 м вод. ст. приводит к росту эффективной мощности в среднем на 0,611 кВт.

Ключевые слова: мелиорация, орошение, дождевальная техника, гидроэнергетика, микрогидроэлектростанция, электроэнергия, регрессия, алгоритм

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Autonomous power supply of sprinkler equipment through the use of a micro-hydropower station

Vladimir V. Slabunov¹, Andrey A. Kirilenko², Oleg V. Voyevodin³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹slabunovvv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0150-5193>

²andreykirilenko96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-3774>

³vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Annotation. Purpose: to assess the potential for the functional implementation of a micro-hydropower station in the design of a sprinkler machine to meet the in-system needs for electrical energy. **Materials and methods:** the study was carried out on the basis of an example of calculating the installation of a micro-hydropower station by A. G. Chernykh and the formulas presented in the handbook on hydraulics. To construct the multiple regression equation, the inverse matrix solution method was used. The calculation of the economic efficiency of the micro-hydropower station was carried out using the method of technical and economic analysis of possible options for electrification by S. G. Obukhov. **Results and discussion:** based on the results of the verification energy calculations, the effective power on the hydraulic turbine shaft with average technical parameters of low-pressure sprinkler machines was 1.202–15.648 kW. At the same time, linking the operation of the micro-hydropower plant to the irrigation systems of the North Caucasus territory has the potential to get 2596.32–33799.68 kW of generated electricity per year at a cost of 1 kW·h of 0.6204 rubles. **Conclusions:** the introduction of a micro-hydropower station in the design of sprinkler equipment will provide the ability to generate electricity within the available hydraulic characteristics. With this in mind, for the operation of hydropower equipment, it is necessary to have or create an additional water pressure. The multiple regression equation obtained on the basis of verification calculations of the parameters of the energy block of a microhydroelectric power plant showed that an increase in the water pressure per 1 m H₂O leads to an increase in effective power by an average of 0.611 kW.

Keywords: land reclamation, irrigation, sprinkler equipment, hydropower, micro-hydropower station, electricity, regression, algorithm

Введение. Экологическая ситуация и современные тенденции, направленные на форсированный рост площади сельскохозяйственных земель, вызывают необходимость в преодолении энергетических барьеров, при этом одним из решений по обеспечению децентрализованных районов может быть применение альтернативных источников энергии. Для этих целей необходима ориентация на мероприятия по химизации, механизации, мелиорации, разработке и внедрению энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии [1–3].

Одним из способов повышения эффективности использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве может послужить рационализация водопользования на мелиоративных системах посредством использования гидроэнергетики малой мощности на искусственных и водохозяйственных комплексах. Основанием для этого служит тот факт, что сельскохозяйственному производству свойственно территориальное распределение и, как следствие, удаленность от инфраструктуры электроснабжения, а наличие

естественных перепадов рельефа местности в пределах децентрализованных мелиоративных (оросительных) систем, в свою очередь, позволяет использовать гидротехнические сооружения как ресурс возобновляемой энергии.

При условии согласования режимов выработки и потребления электрической энергии комплекс автономного энергообеспечения на основе использования энергии водного потока может быть внедрен в технологическую структуру сельхозпроизводителей, осуществляющих деятельность по выращиванию сельскохозяйственных культур в предгорных районах Российской Федерации или использующих деривационные оросительные системы на орошаемых землях. Так, электрическая энергия, вырабатываемая микрогидроэлектростанцией (микроГЭС), установленной на сбросных, водоподводящих, регулирующих и сопрягающих гидротехнических сооружениях, способна обеспечить не только работу средств связи, освещения, автоматизации, но и эксплуатацию малых насосных станций и поливной техники [4–6].

Вопросы взаимного функционирования микроГЭС и поливной техники рассматривались ранее и находят свое отражение в патентах на изобретение «Фронтальная дождевальная машина непрерывного действия с автономным энергообеспечением» [7], «Дождевальная машина для горных и предгорных участков местности» [8] и др.

В связи с этим целью настоящего исследования является оценка потенциала функционального внедрения микроГЭС в конструктивный состав оросительной системы (на примере дождевальной машины) для обеспечения внутрисистемных потребностей в электрической энергии.

Материалы и методы. Для проведения поверочных расчетов параметров энергетического блока гидроэлектростанции руководствуемся алгоритмом решения уравнений (рисунок 1), составленным на основе примера расчета установки микроГЭС А. Г. Черных [9] и формул, представленных в справочнике по гидравлике [10].

ρ – плотность жидкости, кг/м³; Q – расход воды, м³/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – водный напор (нетто), м вод. ст.; n – частота вращения гидравлической турбины, об/мин; α – коэффициент соотношения диаметра входа и выхода ($\approx 0,68$); $N_{\text{п}}$ – полезная мощность водного потока, кВт; n_s – коэффициент быстроходности гидравлической турбины; $\eta_{\text{об}}$ – объемный коэффициент полезного действия; $\eta_{\text{мех}}$ – механический коэффициент полезного действия; $D_{1\text{пр}}$ – приведенный диаметр входа рабочего колеса, мм; $\eta_{\text{г}}$ – гидравлический коэффициент полезного действия; η – общий коэффициент полезного действия; $N_{\text{эф}}$ – эффективная мощность на валу гидравлической турбины, кВт

Рисунок 1 – Расчетная схема (алгоритм решения уравнений) параметров энергетического блока микроГЭС

Анализ описания конструкций и характеристик широко применяемой отечественной и импортной дождевальной техники [11–14] показал, что актуальными для цели исследования являются низконапорные дождевальные машины, средние технические параметры которых приближены к значениям рабочего давления 3,5 атм., расхода воды 70 л/с (при общем нулевом уклоне местности) и максимальной потребляемой мощности 7,5 кВт. В связи с этим в расчетах опираемся на указанные исходные данные.

Для построения уравнения множественной регрессии и определения влияния факторов на показатель эффективной мощности на валу гидравлической турбины используем метод решения через обратную матрицу.

Оценку экономической эффективности микроГЭС осуществляем путем использования универсальной для возобновляемых источников энергии методики технико-экономического анализа возможных вариантов электрификации (С. Г. Обухов, 2009) [15].

Результаты и обсуждение. Процесс внедрения гидроэнергетического агрегата в трубопроводную систему дождевальной машины и в целом проектирование микроГЭС подчинены определенному набору лимитирующих факторов, ведущими из которых являются:

- 1) необходимость выработки определенного количества энергии;
- 2) наличие электрического генератора установленной мощности;
- 3) условия расхода воды в трубопроводе;
- 4) существующие показатели водного напора;
- 5) диаметр трубопровода.

Характеристика пунктов 3–5 по своей специфике является относительно постоянной, так как оптимальные условия орошения и номинальный расход «сохраняются» только при статичных показателях (ограниченных пределах) давления, что также является обязательным условием исправной работы дождевального агрегата. Таким образом, наличие установленных значений расхода воды и напора отводит ведущую роль в выработке электрической энергии компонентам оборудования станции.

Полноценное функционирование микроГЭС за счет подводящего трубопровода дождевальной машины предусматривает наличие трех конструктивных блоков в составе станции: энергетического, блока регулирования и блока баллистической нагрузки. Вода, поступающая по напорному трубопроводу, осуществляет вращение гидротурбины и тем самым приводит в действие ротор электрогенератора, в свою очередь блок регулирова-

ния подключает статорные обмотки генератора к электросети дождевальной машины и согласует режимы выработки электроэнергии с помощью блока баллистической нагрузки^{1,2} (рисунок 2).

1 – дождевальная машина (вид сверху); 2 – кабель линии напряжения;
3 – подводящий трубопровод; 4 – микроГЭС; 5 – блок регулирования;
6 – блок баллистической нагрузки

Рисунок 2 – Принципиальная схема работы микроГЭС на основе подводящего трубопровода дождевальной машины

Для обеспечения исправной работы конструктивных элементов микроГЭС, безопасной эксплуатации обслуживающего ее персонала и разработки технической документации необходимо руководствоваться рядом требований:

- корпус энергоблока в связи с условиями эксплуатации и из соображений безопасности следует выполнять со степенью защиты IP68, согласно международному стандарту ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013)³, что будет

¹ГОСТ 4.171-85. Система показателей качества продукции (СПКП). Турбогенераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсаторы и их системы возбуждения. Номенклатура показателей (с Изменением № 1) [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. Введ. 2014-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

³ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) (издание с поправкой) [Электронный ресурс]. Введ. 2017-03-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

обеспечивать пыленепроницаемость и полную защиту от воздействия жидкости. Для указанных целей детали микроГЭС следует изготавливать из коррозионно-стойких материалов, таких как алюминий, пластические массы, нержавеющая сталь;

- конструкция микроГЭС и прилагаемая к ней техническая документация по условиям безопасности должны совпадать с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей [16], Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок [17] и соответствовать ГОСТ 12.2.007.0⁴. На этом основании обслуживание компонентов электрической сети необходимо осуществлять с помощью 3-й квалификационной группы электробезопасности и выше;

- особенность безопасной установки микроГЭС заключается в присутствии в ее конструктивном составе глухозаземленной нейтрали, при этом металлические детали необходимо связать электрическим соединением с корпусом гидроэнергетической установки. В процессе заземления микроГЭС следует довести до степени защиты, соответствующей требованиям ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013)³;

- эксплуатация станции должна отвечать положениям ГОСТ 12.1.004⁵. Из них следует, что блок регулирования и блок баллистической нагрузки необходимо изолировать от нагревательных элементов и легко воспламеняемых предметов. Также требуется предусмотреть достаточную для условий эксплуатации защиту конструктивных блоков от попадания пыли и влаги.

Стабильная работа дождевальной техники обеспечивается за счет постоянного присутствия в подводящем трубопроводе давления, равного 2–6 атм. Однако функциональное устройство в системе орошения гидроаг-

---

⁴ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности [Электронный ресурс]. Введ. 1975-10-09. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁵ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]. Введ. 1992-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

регата для целей выработки электрической энергии потребует некоторой отдачи давления [4]. Поэтому в конструкции микроГЭС целесообразно применение турбин, работающих при низких показателях напора. Таким образом, для работы микроГЭС понадобятся условия, при которых будет обеспечен дополнительный напор от 2 до 25 м вод. ст.

В результате полезная мощность водного потока, подводимого к микроГЭС через трубопровод дождевальной машины, при условии, что расход воды – 70 л/с, напор – 35 м вод. ст., плотность жидкости – 997 кг/м³, а ускорение свободного падения – 9,8 м/с², составит от 1,371 до 17,133 кВт. При заданных параметрах ведущим фактором, влияющим на получение эффективной мощности, будет являться частота вращения гидротурбины. В качестве расчетной величины принимаем ее в диапазоне 1000–3000 об/мин, что отвечает техническим параметрам низконапорных гидравлических турбин.

Расчетные значения показателей энергетического блока микроГЭС, полученные на основе составленного алгоритма решения уравнений (рисунок 1), при указанных гидравлических характеристиках представлены в таблице 1. Связь между частотой вращения гидротурбины и величиной эффективной мощности на ее валу показана на рисунке 3.

Таблица 1 – Основные характеристики параметров микроГЭС при расходе воды 0,07 м³/с и напоре 2–25 м вод. ст.

n	N_{Π}	n_s	$D_{\text{лпр}}$	$\eta_{\text{об}}$	η_{Γ}	$\eta_{\text{мех}}$	η	$N_{\text{эф}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 2 \text{ м вод. ст.}$								
1000	1,371	812,3855	175,155	0,9919	0,8854	0,9988	0,9988	1,202
1500		1218,5782	153,012	0,9938	0,9	0,9994	0,8939	1,225
3000		2437,1564	121,445	0,9961	0,9192	0,9999	0,9155	1,255
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 5 \text{ м вод. ст.}$								
1000	3,427	646,0664	175,155	0,9906	0,8854	0,998	0,8753	2,999
1500		969,0996	153,012	0,9928	0,9	0,9991	0,8927	3,059
3000		1938,1992	121,445	0,9954	0,9192	0,9998	0,9148	3,135
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 10 \text{ м вод. ст.}$								
1000	6,853	543,2749	175,155	0,9895	0,8854	0,9972	0,8736	5,987
1500		814,9124	153,012	0,9919	0,9	0,9888	0,8916	6,110
3000		1629,8247	121,445	0,9949	0,9192	0,9997	0,9142	6,265

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 15 \text{ м вод. ст.}$								
1000	10,28	490,9043	175,155	0,9887	0,8854	0,9966	0,8724	8,969
1500		736,3564	153,012	0,9914	0,9	0,9985	0,8909	9,158
3000		1472,7129	121,445	0,9945	0,9192	0,9996	0,9138	9,394
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 20 \text{ м вод. ст.}$								
1000	13,707	456,8379	175,155	0,9882	0,8854	0,9991	0,8715	11,945
1500		685,2569	153,012	0,9909	0,9	0,9983	0,8903	12,203
3000		1370,5138	121,445	0,9943	0,9192	0,9996	0,9135	12,522
$Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 25 \text{ м вод. ст.}$								
1000	17,133	432,0506	175,155	0,9878	0,8854	0,9956	0,8707	14,918
1500		648,076	153,012	0,9906	0,9	0,9981	0,8898	15,245
3000		1296,1519	121,445	0,994	0,9192	0,9995	0,9133	15,648
Примечание – Расчетные величины параметров представлены в интервале водного напора 5 м вод. ст. на граничных и средних значениях частоты вращения гидравлической турбины.								

Рисунок 3 – Зависимость эффективной мощности на валу гидравлической турбины от ее частоты вращения (при $Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}, H = 2...25 \text{ м}$)

Таким образом, при значениях $H = 2...25 \text{ м}$, $Q = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ и $n = 1000...3000 \text{ об/мин}$ эффективная мощность на валу гидравлической турбины колеблется от 1,202 до 15,648 кВт. Следует учесть, что средняя максимальная потребляемая мощность низконапорных дождевальных машин составляет 7,5 кВт. На этой основе для обеспечения потребности в макси-

мальной мощности необходимо предусмотреть наличие или создание условий для дополнительного напора в 15 м вод. ст.

По итогам проведения поверочных расчетов параметров энергетического блока микроГЭС появляется возможность проследить взаимосвязь между частотой вращения гидротурбины и вырабатываемой мощностью на ее валу с помощью уравнения множественной регрессии:

$$N_{\text{эф}} = -0,3045 + 0,000172 \cdot n \cdot 0,6106 \cdot H \text{ при } R^2 = 0,9996.$$

Что касается электрогенератора для микроГЭС, то его проект и создание для индивидуальной системы повлечет за собой увеличение экономической стоимости конструкции и приведет к трудностям замены в случае поломки. Учитывая это, следует отдавать предпочтение серийному электрическому двигателю, работающему в режиме генератора.

В целях унификации, т. е. для возможности интеграции микроГЭС с различными видами дождевальных машин, установку станции необходимо осуществлять непосредственно на типовую опорную стойку напорного трубопровода. Для снижения влияния на гидравлические характеристики водного потока следует использовать горизонтальную схему установки микроГЭС (рисунок 4).

1 – водозабор; 2 – деривационный трубопровод; 3 – естественное основание;
4 – водоподводящий трубопровод; 5 – опорная стойка напорного трубопровода
дождевальной машины; 6 – микроГЭС; Q – расход; H – водный напор

**Рисунок 4 – Горизонтальная установка микроГЭС
на опорной стойке напорного трубопровода дождевальной машины**

Приближаясь к экономической оценке вопроса, нужно отметить, что капиталовложения в микроГЭС складываются из относительно высоких первоначальных затрат и более низких годовых расходов на техническое обслуживание. При этом наибольшая доля ($\approx 70\%$) общей стоимости малого энергетического объекта отводится гидравлическим условиям размещения.

При условии, что установленная мощность микроГЭС составляет не более 10 кВт, удельная стоимость комплексного оборудования определяется в размере 25000 руб./кВт, если более – 20000 руб./кВт [15]. В соответствии с этим в нашем случае полная стоимость комплексного гидросилового оборудования будет находиться в пределах 24040–312960 руб.

Привязав работу оросительных систем к территории Северного Кавказа, где орошаемый период достигает 6 месяцев – 2160 ч работы (при условии 12 ч работы в сутки), получим 2596,32–33799,68 кВт вырабатываемой электрической энергии в год (за счет эксплуатации микроГЭС) и рассчитаем себестоимость 1 кВт·ч. Проведенные по методике С. Г. Обухова [15] расчеты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Критерии эффективности использования микроГЭС

Техническая характеристика микроГЭС		Критерий эффективности	
Максимальная установленная мощность, кВт	Максимальная среднесуточная выработка электроэнергии, кВт·ч	Приведенные годовые затраты на 1 кВт установленной мощности, руб.	Себестоимость 1 кВт·ч, руб.
1,202–15,648	14,424–187,776	1340–13400	0,6204

Следует отметить, что к приведенным годовым затратам на 1 кВт установленной мощности следует прибавить строительные и эксплуатационные расходы, которые привязаны к особенностям проекта в конкретных условиях и минимальному размеру оплаты труда в каждом регионе.

Выводы

1 Внедрение микроГЭС в конструктивный состав оросительной системы создает возможность получения энергии в пределах имеющихся гидравлических характеристик. При этом для работы гидроэнергетическо-

го оборудования необходимо учитывать наличие или создание дополнительного напора воды.

2 На стадии проектирования микроГЭС для обеспечения оптимальной работы в составе объекта оросительной системы необходимо подчиняться определенным лимитирующим факторам:

- увеличение расхода воды в целях повышения эффективной мощности должно быть ограничено техническими параметрами поливной техники, так как может привести к перебоям в ее работе;

- увеличение диаметра рабочего колеса гидравлической турбины микроГЭС в целях повышения эффективной мощности необходимо ограничить диаметром подводящего трубопровода дождевальной машины.

3 На примере низконапорных дождевальных машин при обеспечении необходимых гидравлических условий микроГЭС в составе ее конструкции вырабатывает от 2596 до 33799 кВт электрической энергии в год (для условий Северного Кавказа), что с учетом экономической интерпретации (себестоимости 1 кВт·ч) является эффективными показателями. Сумма получаемой электроэнергии способна обеспечить работу дождевальной техники, а также прочие внутрисистемные потребности в электрической энергии.

4 Полученное на основе поверочных расчетов параметров энергетического блока микроГЭС уравнение множественной регрессии показывает: увеличение частоты вращения гидравлической турбины на 1 об/мин приводит к росту эффективной мощности в среднем на 0,000172 кВт; увеличение напора воды на 1 м вод. ст. приводит к росту эффективной мощности в среднем на 0,611 кВт.

Список источников

1. Григораш О. В., Тарасов М. М. О необходимости применения возобновляемых источников энергии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2016. № 118(04). С. 949–962. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/57.pdf> (дата обращения: 20.02.2021).

2. Мелихов В. В. Изменение стратегии управления водными ресурсами в мелиоративной отрасли сельскохозяйственного производства в современных климатических условиях // Экосистемы: экология и динамика. 2017. № 3. С. 5–14.

3. Feasibility evaluation of a hybrid renewable power generation system for sustainable electricity supply in a Moroccan remote site / Н. El-Houari, A. Allouhi, S. Rehman, M. S. Buker, T. Kousksou, A. Jamil, B. El Amrani // Journal of Cleaner Production. 2020. № 227. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123534.

4. 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. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec290-field12.pdf (дата обращения: 20.02.2021).

5. Бондаренко В. Л., Лобанов Г. Л., Алиферов А. В. Оценка перспектив использования возобновляемых источников энергии на базе малой гидроэнергетики в Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 3(23). С. 166–184. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1104-field12.pdf (дата обращения: 20.02.2021).

6. Слабунов В. В., Кириленко А. А., Воеводин О. В. К вопросу использования микрогидроэлектростанций для целей орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 4(40). С. 145–160. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1164> (дата обращения: 20.02.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-145-160.

7. Фронтальная дождевальная машина непрерывного действия с автономным энергообеспечением: пат. 2676906 Рос. Федерация: МПК А 01 G 25/09 / Щедрин В. Н., Чураев А. А., Снопич Ю. Ф., Лобанов Г. Л., Вайнберг М. В., Юченко Л. В., Школьная В. М., Кореновский А. М., Куприянов А. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2018111173; заявл. 28.03.18; опубл. 11.01.19, Бюл. № 2. 7 с.

8. Дождевальная машина для горных и предгорных участков местности: пат. 2638312 Рос. Федерация: МПК А 01 G 25/09 / Щедрин В. Н., Бондаренко Л. В., Лобанов Г. Л., Бакланова Д. В.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2017111556; заявл. 05.04.17; опубл. 13.12.17, Бюл. № 35. 5 с.

9. Черных А. Г. Гидравлический расчет установки микроГЭС на базе центробежного насоса с экранированным асинхронным двигателем // Известия СПбГАУ. 2016. № 44. С. 261–268.

10. Справочник по гидравлике / В. А. Большаков [и др.]; под ред. В. А. Большакова. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища школа, 1984. 343 с.

11. Васильев С. М., Шкура В. Н. Дождевание: учеб. пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 352 с.

12. Ольгаренко Г. В., Городничев В. И. Дождевальная техника нового поколения // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 2. С. 34–36.

13. Поливная техника: кат.-справ. / ФГНУ ВНИИ «Радуга». 2007. 50 с.

14. Сапунков А. П. Применение дождевальной техники. Современные тенденции: учеб. пособие. М.: Агропромиздат, 1991. 126 с.

15. Обухов С. Г. Микрогидроэлектростанции: курс лекций. Томск: ТПУ, 2009. 63 с.

16. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс]: Приказ М-ва энергетики Рос. Федерации от 13 янв. 2003 г. № 6: по состоянию на 13 сент. 2018 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

17. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]: Приказ М-ва труда и соц. защиты Рос. Федерации от 24 июля 2013 г. № 328н: по состоянию на 15 нояб. 2018 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

References

1. Grigorash O.V., Tarasov M.M., 2016. *O neobkhodimosti primeneniya vozobnovlyаемых istochnikov energii* [The need for the use of renewable energy sources]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematcheskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 118(04), pp. 949-962. (In Russian).

2. Melikhov V.V., 2017. *Izmenenie strategii upravleniya vodnymi resursami v meliorativnoy otrasli sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh* [Changing the strategy of water resources management in the reclamation industry of agricultural production under modern climatic conditions]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], no. 3, pp. 5-14. (In Russian).

3. El-Houari H., Allouhi A., Rehman S., Buker M.S., Kousksou T., Jamil A., Amrani B. El, 2020. Feasibility evaluation of a hybrid renewable power generation system for sustainable electricity supply in a Moroccan remote site. *Journal of Cleaner Production*, no. 227, DOI: 10.1016/j.jclepro. 123534.

4. Shchedrin V.N., Baklanova D.V., Bondarenko V.L., Lobanov G.L., 2017. [Evaluation of perspectives 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/dl_files/udb_files/udb4-rec290-field12.pdf [accessed 20.02.2021]. (In Russian).

5. Bondarenko V.L., Lobanov G.L., Aliferov A.V., 2016. [Assessment of the prospects of renewable energy use 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/dl_files/udb_files/udb4-rec1104-field12.pdf [accessed 20.02.2021]. (In Russian).

6. Slabunov V.V., Kirilenko A.A., Voevodin O.V., 2020. [On issue of using micro hydroelectric power plants for irrigation purposes]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(40), pp. 145-160, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1164> [accessed 20.02.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-145-160. (In Russian).

7. Shchedrin V.N., Churaev A.A., Snipich Yu.F., Lobanov G.L., Vainberg M.V., Yuchenko L.V., Shkol'naya V.M., Korenovsky A.M., Kupriyanov A.A., 2018. *Frontal'naya dozhdeval'naya mashina nepreryvnogo deystviya s avtonomnym energoobespecheniem* [Linear Sprinkler of Continuous Action with Autonomous Power Supply]. Patent RF, no. 2676906. (In Russian).

8. Shchedrin V.N., Bondarenko L.V., Lobanov G.L., Baklanova D.V., 2017. *Dozhdeval'naya mashina dlya gornykh i predgornykh uchastkov mestnosti* [Sprinkler for Mountain and Foothill Areas]. Patent RF, no. 2638312. (In Russian).

9. Chernykh A.G., 2016. *Gidravlicheskiy raschet ustanovki mikroGES na baze tsentrobeghnogo nasosa s ekranirovannym asinkhronnym dvigatelem* [Hydraulic calculation of a micro-hydroelectric power plant based on a centrifugal pump with a screened asynchronous motor]. *Izvestiya SPbGAU* [Bull. of SPbGAU], no. 44, pp. 261-268. (In Russian).

10. Bolshakov V.A. [et al.], 1984. *Spravochnik po gidravlike* [Reference Book on Hydraulics]. 2nd ed., rev. and add., Kiev, Vishcha school Publ., 343 p. (In Russian).

11. Vasiliev S.M., Shkura V.N., 2016. *Dozhdevanie: uchebnoe posobie* [Sprinkling: textbook]. Novocherkassk, RosNIIPM, 352 p. (In Russian).

12. Olgarenko G.V., Gorodnichev V.I., 2006. *Dozhdeval'naya tekhnika novogo pokoleniya* [Sprinkler equipment of a new generation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 34-36. (In Russian).

13. *Polivnaya tekhnika: kat.-sprav.* [Irrigation Equipment: catalogue-reference book]. FGNU VNII “Rainbow”, 2007, 50 p. (In Russian).

14. Sapunkov A.P., 1991. *Primenenie dozhdeval'noy tekhniki. Sovremennye tendentsii: uchebnoe posobie* [Application of Sprinkling Technology. Modern Trends: textbook]. Moscow, Agropromizdat Publ., 126 p. (In Russian).

15. Obukhov S.G., 2009. *Mikrohidroelektrostantsii: kurs lektsiy* [Microhydroelectric power plants: a course of lectures]. Tomsk, TPU Publ., 63 p. (In Russian).

16. *Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebiteley* [On the Approval of the Rules for the Technical Operation of Electrical Installations of Consumers]. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of 13 Jan., 2003, no. 6, as of 13 Sept. 2018. (In Russian).

17. *Ob utverzhdenii Pravil po okhrane truda pri ekspluatatsii elektroustanovok* [On Approval of the Rules for Technical Operation of Consumers' Electrical Installations]. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the RF of July 24, 2013, no. 328n, as of Nov. 15, 2018. (In Russian).

Информация об авторах

В. В. Слабунов – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. А. Кириленко – младший научный сотрудник;

О. В. Воеводин – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

V. V. Slabunov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. A. Kirilenko – Junior Researcher;

O. V. Voyevodin – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.02.2021; одобрена после рецензирования 17.03.2021; принята к публикации 31.03.2021.

The article was submitted 15.02.2021; approved after reviewing 17.03.2021; accepted for publication 31.03.2021.