

Научная статья  
УДК 004.65:621.311.25  
ББК 31.57-5-05  
Р 31  
DOI: 10.53598/2410-3225-2024-1-336-70-79

## Реализация программной части модуля сбора данных о функционировании микроГЭС (Рецензирована)

Стефан Владимирович Онищенко<sup>1</sup>, Алий Русланович Мамий<sup>2</sup>,  
Дмитрий Алексеевич Василенко<sup>3</sup>, Степан Сергеевич Васюк<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

<sup>1,3,4</sup> osv@adygnet.ru

<sup>2</sup> alymaty@adygnet.ru

**Аннотация.** Предложена реализация модуля автоматизированного сбора данных о функционировании микрогидроэлектростанции, который позволит производить запись необходимых для оценки эффективности использования подобных генерирующих устройств параметров и передавать полученные данные на стороннее устройство, выступающее в роли сервера.

**Ключевые слова:** малая гидроэнергетика, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), оценка потенциала, сбор данных

**Для цитирования:** Реализации программной части модуля сбора данных о функционировании микроГЭС / С. В. Онищенко, А. Р. Мамий, Д. А. Василенко, С. С. Васюк // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. : Естественно-математические и технические науки. 2024. Вып. 1 (336). С. 70–79. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-1-336-70-79

Original Research Paper

## Realization of the program part of the data collection module on the functioning of microhydropower plants

Stefan V. Onishchenko<sup>1</sup>, Aliy R. Mamiy<sup>2</sup>, Dmitriy A. Vasilenko<sup>3</sup>,  
Stepan S. Vasyuk<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Adyghe State University, Maykop, Russia

<sup>1,3,4</sup> osv@adygnet.ru

<sup>2</sup> alymaty@adygnet.ru

**Abstract.** The realization of the module of automated data collection on microhydroelectric power plant functioning is proposed, which will allow to record the parameters necessary to evaluate the effectiveness of such generating devices and transfer the obtained data to a third-party device acting as a server.

**Keywords:** small hydropower, renewable energy, capacity evaluation, data collection

**For citation:** Realization of the program part of the data collection module on the functioning of microhydropower plants / S. V. Onishchenko, A. R. Mamiy, D. A. Vasilenko, S. S. Vasyuk // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2024. Iss. 1 (336). P. 70–79. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-1-336-70-79

## Введение

Малая гидроэнергетика, относящаяся к возобновляемым источникам энергии, в настоящее время является одним из наиболее устойчивых, надежных и чистых видов

энергетических ресурсов [1]. Подобные энергетические системы имеют много преимуществ, к которым можно отнести [2]: малые затраты на эксплуатацию системы, длительный срок службы без потери эффективности (в отличие от солнечных панелей [3]), малый процент выброса парниковых газов в атмосферу и высокий КПД, достигающий 60–70%, что на порядок превосходит КПД остальных видов возобновляемых источников энергии (кроме геотермальной энергии).

Несмотря на явные преимущества, доля малой гидроэнергетики в общем балансе генерации остается чрезвычайно низкой, что обусловлено высокими затратами на первоначальном этапе построения системы [4], территориальной ограниченностью подобных ресурсов (что проявляется в меньшей степени при использовании солнечной и ветровой энергии), необходимостью оценки теоретического и технического потенциала, позволяющего определить эффективность внедрения энергетического комплекса [5], и построения прогнозных моделей, направленных на установление существующих сезонных и климатических зависимостей, оказывающих сильное влияние на водный профиль малых рек, расположенных в горных регионах.

В этой связи предлагается реализовать модуль автоматизированного сбора данных о функционировании прототипа микрогидроэлектростанции, позволяющего производить запись необходимых параметров с их последующим сохранением на накопителе. Полученные данные, используемые совместно с данными из открытых источников, таких как геоинформационные системы (ГИС) с открытым исходным кодом [6, 7], карты и атласы ресурсов, базы данных метеорологических параметров, картографических снимков, могут быть использованы для построения моделей в рамках информационно-аналитической системы поддержки решений в возобновляемой энергетике [8], позволяя получить комплексную оценку основных видов альтернативных источников энергии.

### **Материалы и методы**

Вовлечение возобновляемых источников энергии в энергетический баланс включает несколько этапов:

- оценка валового потенциала каждого ресурса;
- определение технического потенциала ВИЭ на основе существующих ограничений и используемых технологий преобразования;
- организация эффективного управления эксплуатируемыми системами, позволяющими в реальном масштабе времени реагировать на возможные колебания в объемах генерации энергии для устойчивого энергоснабжения конечного потребителя.

Ключевым фактором на каждом из данных этапов является наличие необходимых данных. Основным недостатком источников данных является их ограниченное покрытие территорий, что не позволяет в полной мере произвести оценку ресурсов для всех регионов в силу отсутствия необходимых данных [9].

Первым шагом при определении конфигурации любой энергетической системы с возобновляемыми источниками энергии является оценка потенциала [10–12], которая включает несколько составляющих: теоретический, технический и экономический потенциалы, образующие ступенчатую пирамидальную структуру [13].

Теоретический потенциал микроГЭС чаще всего определяется при помощи значений текущего расхода воды [14], которые могут быть получены за счет измерения скорости протекающего потока и площади сечения отводящего желоба (с учетом текущего уровня). Распространенные подходы косвенного определения теоретического потенциала малой гидроэнергетики подразумевают использование методов, основанных на применении ГИС и карт ресурсов [15], позволяющих получить входные параметры, или реализацию моделей расчета объемов расхода воды за счет использования данных об осадках [16, 17]. Подобные подходы не требуют реальных исследований речного

бассейна, что делает их более доступными, однако это приводит к потере точности получаемых результатов предварительной оценки. Другим явным недостатком является неполнота используемых источников данных, которые не способны предоставить наборы необходимых параметров для труднодоступных районов, не имеющих в непосредственной близости метеорологических станций.

Вторым шагом оценки гидроресурсов является оценка технического потенциала ВИЭ, позволяющая учесть существующие ограничения по размещению генерирующих устройств и конкретные технологические характеристики преобразователей энергии, в результате чего можно определить планируемую среднюю мощность (кВт) и годовую выработку (кВт·ч) от использования внедряемой станции. Подобная оценка также может носить теоретический характер и основываться на значениях валового потенциала, однако это приведет к большим погрешностям полученной оценки, невозможности определения влияния сезонных и климатических колебаний на поведение генерирующего устройства.

Для повышения точности получаемых оценок и возможности расчета потенциала в труднодоступных районах можно использовать автономные измерительные комплексы, позволяющие производить сбор всех необходимых параметров для осуществления процедуры теоретической оценки интересующего нас вида энергетического ресурса [18]. На рисунке 1 представлены основные источники данных и их роль на основных этапах вовлечения и использования ВИЭ в энергобалансе региона.

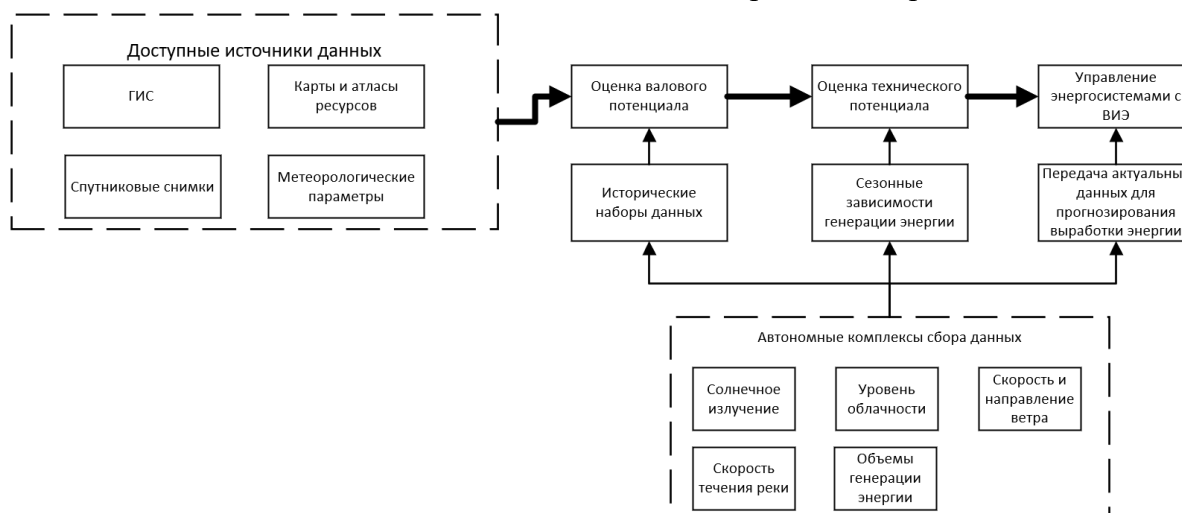


Рис. 1. Схема использования данных на этапах вовлечения ВИЭ в энергобаланс

Fig. 1. Scheme of data use at the stages of RES involvement in the energy balance

Автономные комплексы позволяют не только обеспечить накопление необходимых параметров, но и произвести оценку существующих сезонных зависимостей в объемах генерации энергии. Однако это не всегда возможно при использовании данных из открытых источников данных, но является важным этапом при реализации процедуры оценки технического потенциала ВИЭ. Для эффективной оценки необходимо получить ряд параметров, позволяющих произвести анализ теоретического и технического потенциала малой гидроэнергетики:

- скорость течения реки;
- генерируемое напряжение;
- потребляемый нагрузкой ток;
- температуру и влажность окружающего воздуха.

Измерение характеристик генерирующего устройства при подключенной нагрузке позволяет определить мощность и объемы генерации с учетом текущих по-

годных условий, что дает возможность для прогнозирования количества выработки энергии [19]. Для возможности сбора данных показателей в работе [20] было реализовано генерирующее устройство, предназначенное для использования в условиях горной местности, суммарной мощностью 0,5 кВт.

Устройство сбора данных реализовано на следующей компонентной базе:

- микроконтроллер Arduino Uno;
- датчик температуры и влажности DHT22;
- датчик расхода воды YF-S201C;
- модуль карты Micro-SD Card;
- цифровой датчик тока и напряжения CJM CU-219;
- контроллер заряда и разряда аккумулятора RP038.

На основе этих компонентов была произведена авторская реализация прототипа аппаратной части автономного измерительного комплекса, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.

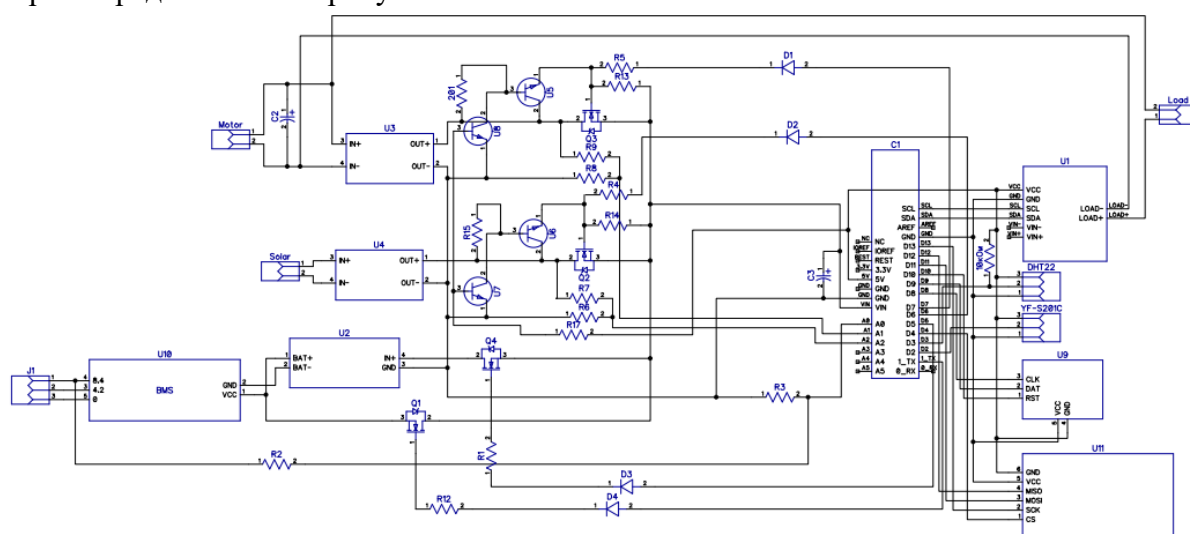


Рис. 2. Принципиальная схема автономного модуля сбора данных для оценки потенциала малой гидроэнергетики

Fig. 2. Schematic diagram of an autonomous data collection module for small hydropower potential evaluation

После реализации аппаратной части модуля организуются программные процедуры опроса датчиков и записи получаемых значений на SD-карту. Алгоритм работы подобной программы представлен на рисунке 3. Датчики для измерения напряжения, силы тока, температуры и влажности окружающей среды являются адаптированными для работы с контроллерами линейки Arduino. Поэтому для их опроса можно использовать специализированные библиотеки “Adafruit\_INA219.h”, “DHT.h”, которые дают возможность получить все измеряемые параметры в удобочитаемом виде (в виде стандартных единиц измерения в заданных диапазонах измерения).

Другой способ опроса организуется при использовании датчика скорости потока жидкости [21], функционирование которого основано на эффекте Холла, когда формируется последовательность импульсов в качестве выходного значения. Для обработки подобной последовательности импульсов необходимо использовать временные интервалы, за время которых возможно рассчитать количество импульсов, необходимое для расчета текущей пропускной способности, для чего используется встроенная функция millis(), производящая отсчет внутреннего времени с момента запуска работы контроллера. Фрагмент кода, описывающий процесс опроса датчика потока жидкости и вычисления итоговой скорости течения в м/с, представлен ниже:

```

if( (varTime+1000)<millis() || varTime>millis() ){
    varQ = (float)varF / 450.0f;
    varF = 0
    varTime = millis();
    varV += varQ;
    varSp = (varQ/1000)/S;
    Serial.println((String) "Объем " + varV + "л, скорость " + (varQ*60.0f) + "л/м.");
    Serial.println((String) "Скорость " + varSp + ", м/с");
}
    
```

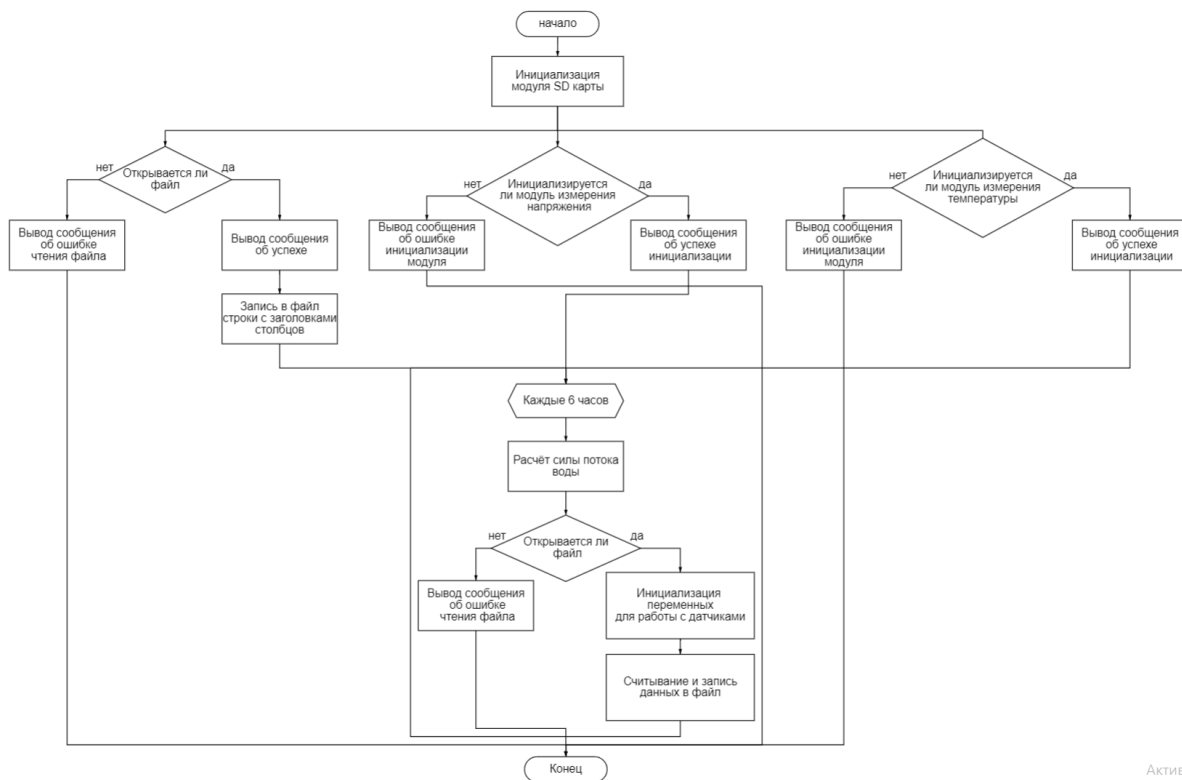


Рис. 3. Алгоритм опроса датчиков и записи полученных значений на SD-карту

Fig. 3. Algorithm of sensor interrogation and recording of received values on SD-card

В результате работы данной программы формируется текстовый файл, содержащий информацию о полученных показателях. Пример записанных значений представлен в таблице 1.

Таблица 1

Пример записанных значений измеряемых показателей  
 Table 1. An example of recorded values of measured indicators

Скорость потока, м/с	Напряжение, мВ	Сила тока, мА	Температура, °С	Влажность, %
0,5	15	0,5	17	65
0,4	12	0,45	17	65
0,7	20	0,51	17	64
0,9	25	0,7	18	67
1	30	0,82	18	67

Сохранение информации на физическом накопителе требует периодического непосредственного взаимодействия с модулем сбора данных, что не всегда легко реализуемо при использовании измерительного комплекса в условиях труднодоступной местности. Возможным решением данной проблемы является организация системы

беспроводной передачи данных, которая может быть реализована за счет использования платформы Arduino, дополнительных модулей и соответствующих библиотек [22, 23]. В частности, возможно применение GSM-модуля, позволяющего организовать посредством SMS или же GSPR (через Интернет) беспроводного способа передачи данных, что может использоваться для различных задач [24, 25]:

- отслеживания и мониторинга в реальном времени;
- реализации систем охраны и СКУД;
- удаленного управления;
- при реализации умных домов и IoT;
- отправки SMS;
- организации сетевого подключения.

В данном случае важна возможность организации процедуры передачи и мониторинга в режиме реального времени на некоторое стороннее устройство, например, на компьютер оператора, что может быть реализовано за счет организации клиент-серверной архитектуры взаимодействий, изображенной на рисунке 4.

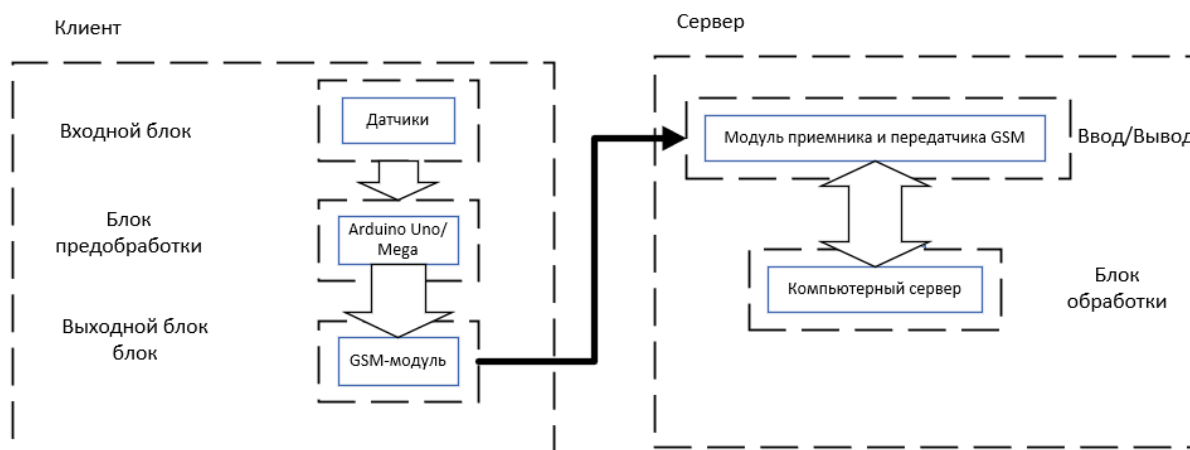


Рис. 4. Организация серверного взаимодействия при использовании GSM-модуля

Fig. 4. Organization of server interaction when using GSM-module

Использование данной архитектуры позволяет направлять пакеты данных непосредственно на компьютер для их дальнейшей обработки. Кроме этого, появляется возможность организации системы мониторинга в режиме реального времени за счет отображения поступающих данных на WEB-ресурсе. Код отправки данных с клиента представлен ниже:

```
void gprs_send(String data) {
    int d = 400;
    GSMport.println("AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://mysite.ru/?a=" + data + "\"");
    delay(d * 2);
    Serial.println(ReadGSM());
    delay(d);
    Serial.println("GET url");
    GSMport.println("AT+HTTTPACTION=0");
    delay(d * 2);
    Serial.println(ReadGSM());
    delay(d);
}
```

Для отображения полученных сведений на WEB-странице необходимо организовать скрипт на стороне сервера, для чего может использоваться PHP скрипт, позволяющий обработать и отобразить полученные сведения:

```
<?php
$ip = $_SERVER['REMOTE_ADDR'];
$client = $_SERVER['HTTP_USER_AGENT'];
$today = date("Y.m.d H:i:s");
$f = fopen("log.csv","a");
$params = $_REQUEST['a'];
fwrite($f,$today; $ip; $client; sensor=$params\r\n-----\r\n");
fclose($f);
?>
<p>GPRS data read page</p>
```

### Заключение

В работе рассмотрена реализация программной части модуля сбора данных о функционировании микроГЭС, позволяющего производить опрос датчиков и записывать полученные значения на SD-карту, организовывать передачу данных посредством использования GSM-модуля на персональный компьютер. Накопление этих данных необходимо для реализации процедур оценки теоретического потенциала малой гидроэнергетики. Эти же данные необходимы при построении интеллектуальных моделей оценки энергетического потенциала ВИЭ, они позволяют установить объемы генерации в зависимости от погодных условий и текущего времени года, что в конечном итоге может значительно повлиять на общий энергетический баланс. Очевидно, что такие разработки должны строиться в соответствии с определенной методологией моделирования физических процессов в системах с нетрадиционными источниками энергии, например, как это представлено в работах [26–28].

Беспроводной способ передачи данных на компактное устройство можно организовать через одноплатный компьютер Raspberry PI, который будет выполнять роль небольшого сервера, позволяющего объединить в единую систему сбор и накопление данных нескольких подобных автономных устройств, обеспечивая не только процесс накопления данных, но и возможность их предварительной обработки за счет большего числа внутренних ресурсов. Еще одна возможность расширения функционала системы заключается в совместном подключении измерительных приборов к солнечной панели, которая гарантировала бы автономную работу всего комплекса и использование анемометра. Все это в совокупности позволит получить ряд важных характеристик, используемых при оценке и прогнозировании ВИЭ, позволит повысить эффективность всей информационно-аналитической системы поддержки решений в возобновляемой энергетике.

### Примечания

1. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India) / B. C. Kusre, D. C. Baruah, P. K. Bordoloi, S. C. Patra // Applied Energy. 2010. No. 87 (1). P. 298–309.
2. Hatata A. Y., El-Saadawi M. M., Saad S. A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt // Energy Strategy Reviews. 2019. No. 24. P. 300–313.
3. Piotr Olczak. Evaluation of degradation energy productivity of photovoltaic installations in long-term case study // Applied Energy. 2023. Vol. 343. P. 121109. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121109>
4. Conduit hydropower development guide / S. J. van Vuuren [et al.]. Pretoria : Water Research Commission, 2014. 439 p.
5. Chu Shiji, Sagar Dhakal, Chuanqi Ou. Greening small hydropower: A brief review // Energy Strategy Reviews. 2021. Vol. 36. P. 100676. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100676>
6. Software Tools for Evaluating Renewable Energy Sources / P. Yu. Buchatskiy, S. V. Tep-loukhov, S. V. Onishchenko, K. K. Kuzmin, T. Yu. Bychkov // Russian Journal of Earth Sciences. 2023.

№ 5. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.2205/2023ES02SI02>

7. Онищенко С. В., Кузьмин К. А., Бычков Т. Ю. Программные средства моделирования возобновляемых источников энергии // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 15–19 мая 2023 года.* Майкоп : ИП Кучеренко Вячеслав Олегович, 2023. Ч. 2. С. 91–99.

8. Designing an Intelligent Information and Analytical System for Evaluating Solutions in Renewable Energy Based on Digital Twins / V. S. Simankov, P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, A. N. Cherkasov, S. V. Onishchenko // *2023 Seminar on Information Systems Theory and Practice (ISTP).* Saint Petersburg, 2023. P. 85–88. DOI: 10.1109/ISTP60767.2023.10426987

9. Damtew Y., Getenet G. Assessment of Hydropower Potential of Selected Rivers in North Shoa Zone, Amhara Regional State, Ethiopia // *J. Energy Res.* 2019. No. P. 15–18.

10. Simankov V. S., Buchatskiy P. Yu., Onishchenko S. V., Teploukhov S. V. Review of Models for Estimating and Predicting the Amount of Energy Produced by Solar Energy Systems // *Russian Journal of Earth Sciences.* 2023. No. 5. P. 1–17. URL: <https://doi.org/10.2205/2023ES02SI01>

11. Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount / V. Simankov, P. Buchatskiy, S. Teploukhov, S. Onishchenko [at al.] // *Energies.* 2023. No. 16. P. 5926.

12. Обзор моделей оценки и прогнозирования поступления солнечной энергии / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 15–19 мая 2023 года.* Ч. 2. Майкоп : ИП Кучеренко Вячеслав Олегович, 2023. С. 167–174.

13. Analysis of Small Hydropower Generation Potential: (2) Future Prospect of the Potential under Climate Change / J. Jung, S. Jung, Lee J., M. Lee, H. S. Kim // *Energies.* 2021. No. 14. P. 3001. URL: <https://doi.org/10.3390/en14113001>

14. A Comprehensive Study of Micro-Hydropower Plant and Its Potential in Bangladesh / J. I. Razan, R. S. Islam, R. Hasan, S. Hasan, F. Islam / *ISRN Renewable Energy.* London, UK, 2012. P. 1–10.

15. Park W., Lee C. Estimation Method of Small Hydro Power Potential Using a Resource Map // *Proc. Korean Sol. Energy Soc.* 2008. No. 11. P. 322–326.

16. Park W., Lee C. The Effects of Design Parameters for Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition // *J. Korean Sol. Energy Soc.* 2008. No. 28. P. 43–49.

17. Noyes R. Small and Micro Hydroelectric Power Plants: Technology and Feasibility // *Energy Technology Review.* No. 60. Noyes Data Corporation : Park Ridge, NJ, USA, 1980. P. 457.

18. Реализация программно-аппаратного комплекса для оценки энергетического потенциала возобновляемых источников энергии / П. Ю. Бучацкий, С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко, А. С. Платонов, А. А. Авджиян, В. Е. Авдеев / *Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. : Естественно-математические и технические науки.* 2019. Вып. 4 (251). С. 103–108. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

19. A Solar and Wind Energy Evaluation Methodology Using Artificial Intelligence Technologies / V. Simankov, P. Buchatskiy, A. Kazak, S. Teploukhov, S. Onishchenko [at al.] // *Energies.* 2024. No. 17. P. 416. URL: <https://doi.org/10.3390/en17020416>

20. Юркаев К. А., Эльфимов И. А., Мамий А. Р. Разработка системы генерирования электроэнергии в микроГЭС для применения в условиях горной местности // *Прикладные вопросы точных наук : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, преподавателей, Армавир, 27–28 октября 2023 года.* Армавир: Армавирский государственный педагогический университет, 2023. С. 54–56.

21. Radj B. M., Kamalanathan R. Design and analysis of hall effect sensor and Arduino controlled liquid flow measurement // *Advances and Applications in Fluid Mechanics.* 2023. No. 30 (2). P. 147–155. URL: <https://doi.org/10.17654/0973468623008>

22. Karra A., Kondi B., Jayaraman R. Implementation of Wireless Communication to Transfer Temperature and Humidity Monitoring Data using Arduino Uno // *2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSPP).* Chennai, India, 2020. P. 1101–1105. DOI: 10.1109/ICCSPP48568.2020.9182139

23. Shlibek Manal, Mhereeg Mohamed. Comparison between Arduino based wireless and wire methods for the provision of power theft detection // *European Journal of Engineering Science and Technology.* 2019. No. 2 (4). P. 45–59. DOI: 10.33422/EJEST.2019.09.37

24. S. Mukherjee A. Ghosh, Sarkar S. K. Arduino based Wireless Heart-rate Monitoring system with Automatic SOS Message and/or Call facility using SIM900A GSM Module // *2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN).* Vellore, India, 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/ViTECoN.2019.8899504

25. Li-Fi Technology Based Parking System Using GSM and GPS Module / K. Malarvizhi, S. Sandhya, S. Rathinamala, G. Deebanchakkarawarthy // *Journal of Technical Education.* 2023. No. 253.

26. Симанков В. С., Бучацкий П. Ю., Шопин А. В. Методология моделирования физиче-



- ских процессов в энергетических комплексах с нетрадиционными источниками энергии и оптимизация их параметров // Труды ФОРА. 1998. № 3. С. 18–26. URL: <https://trudy.fora01.ru/files/73/3.PDF>
27. Development of the methodological basis of the simulation modelling of the multi-energy systems / K. Suslov, V. Piskunova, D. Gerasimov, E. Ukolova [at al.] // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 124. P. 01049. DOI: 10.1051/e3sconf/201912401049
28. Pfenninger S., Hawkes A., Keirstead J. Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 33. P. 74–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.003>

## References

1. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India) / B. C. Kusre, D. C. Baruah, P. K. Bordoloi, S. C. Patra // Applied Energy. 2010. No. 87 (1). P. 298–309.
2. Hatata A. Y., El-Saadawi M. M., Saad S. A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt // Energy Strategy Reviews. 2019. No. 24. P. 300–313.
3. Piotr Olczak. Evaluation of degradation energy productivity of photovoltaic installations in long-term case study // Applied Energy. 2023. Vol. 343. P. 121109. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121109>
4. Conduit hydropower development guide / S. J. van Vuuren [et al.]. Pretoria : Water Research Commission, 2014. 439 p.
5. Chu Shiji, Sagar Dhakal, Chuanqi Ou. Greening small hydropower: A brief review // Energy Strategy Reviews. 2021. Vol. 36. P. 100676. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100676>
6. Software Tools for Evaluating Renewable Energy Sources / P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, S. V. Onishchenko, K. K. Kuzmin, T. Yu. Bychkov // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. No. 5. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.2205/2023ES02SI02>
7. Onishchenko S. V., Kuzmin K. A., Bychkov T. Yu. Software tools for modeling renewable energy sources // Fundamental and applied aspects of Geology, Geophysics and Geoecology using modern information technologies: materials of the 7<sup>th</sup> International scientific and practical conf., Maykop, May 15–19, 2023. Maykop : ИП Кучеренко Вячеслав Олегович, 2023. Pt. 2. P. 91–99.
8. Designing an Intelligent Information and Analytical System for Evaluating Solutions in Renewable Energy Based on Digital Twins / V. S. Simankov, P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, A. N. Cherkasov, S. V. Onishchenko // 2023 Seminar on Information Systems Theory and Practice (ISTP). Saint Petersburg, 2023. P. 85–88. DOI: 10.1109/ISTP60767.2023.10426987
9. Damtew Y., Getenet G. Assessment of Hydropower Potential of Selected Rivers in North Shoa Zone, Amhara Regional State, Ethiopia // J. Energy Res. 2019. No. P. 15–18.
10. Simankov V. S., Buchatskiy P. Yu., Onishchenko S. V., Teploukhov S. V. Review of Models for Estimating and Predicting the Amount of Energy Produced by Solar Energy Systems // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. No. 5. P. 1–17. URL: <https://doi.org/10.2205/2023ES02SI01>
11. Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount / V. Simankov, P. Buchatskiy, S. Teploukhov, S. Onishchenko [at al.] // Energies. 2023. No. 16. P. 5926.
12. Overviews of models for estimating and predicting solar energy supply / V. S. Simankov, P. Yu. Buchatskiy, S. V. Onishchenko, S. V. Teploukhov // Fundamental and applied aspects of Geology, Geophysics and Geoecology using modern information technologies: materials of the 7<sup>th</sup> International scientific and practical conf., Maykop, May 15–19, 2023. Maykop: IP Kucherenko Vyacheslav Olegovich, 2023. Pt. 2. P. 167–174.
13. Analysis of Small Hydropower Generation Potential: (2) Future Prospect of the Potential under Climate Change / J. Jung, S. Jung, Lee J., M. Lee, H. S. Kim // Energies. 2021. No. 14. P. 3001. URL: <https://doi.org/10.3390/en14113001>
14. A Comprehensive Study of Micro-Hydropower Plant and Its Potential in Bangladesh / J. I. Razan, R. S. Islam, R. Hasan, S. Hasan, F. Islam / ISRN Renewable Energy. London, UK, 2012. P. 1–10.
15. Park W., Lee C. Estimation Method of Small Hydro Power Potential Using a Resource Map // Proc. Korean Sol. Energy Soc. 2008. No. 11. P. 322–326.
16. Park W., Lee C. The Effects of Design Parameters for Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition // J. Korean Sol. Energy Soc. 2008. No. 28. P. 43–49.
17. Noyes R. Small and Micro Hydroelectric Power Plants: Technology and Feasibility // Energy Technology Review. No. 60. Noyes Data Corporation : Park Ridge, NJ, USA, 1980. P. 457.
18. Implementation of the power assessment appliance for renewable energy sources / P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, S. V. Onishchenko, A. S. Platonov, A. A. Avdzhian, V. E. Avdeev // The Bulletin of the Adyge State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2019. Iss. 4 (251). P. 103–108. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
19. A Solar and Wind Energy Evaluation Methodology Using Artificial Intelligence Technologies / V. Simankov, P. Buchatskiy, A. Kazak, S. Teploukhov, S. Onishchenko [at al.] // Energies. 2024.

No. 17. P. 416. URL: <https://doi.org/10.3390/en17020416>

20. Yurkaev K. A., Elfimov I. A., Mamiy A. R. Development of a system for generating electricity in micro-hydroelectric power stations for use in mountainous areas // Applied issues of exact sciences: material. 7<sup>th</sup> Int. scientific-practical conf. students, graduate students, teachers, Armavir, October 27–28, 2023. Armavir : Armavir State Pedagogical University, 2023. P. 54–56.

21. Radj B. M., Kamalanathan R. Design and analysis of hall effect sensor and Arduino controlled liquid flow measurement // Advances and Applications in Fluid Mechanics. 2023. No. 30 (2). P. 147–155. URL: <https://doi.org/10.17654/0973468623008>

22. Karra A., Kondi B., Jayaraman R. Implementation of Wireless Communication to Transfer Temperature and Humidity Monitoring Data using Arduino Uno // 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). Chennai, India, 2020. P. 1101–1105. DOI: 10.1109/ICCSP48568.2020.9182139

23. Shlibek Manal, Mhereeg Mohamed. Comparison between Arduino based wireless and wire methods for the provision of power theft detection // European Journal of Engineering Science and Technology. 2019. No. 2 (4). P. 45–59. DOI: 10.33422/EJEST.2019.09.37

24. S. Mukherjee A. Ghosh, Sarkar S. K. Arduino based Wireless Heart-rate Monitoring system with Automatic SOS Message and/or Call facility using SIM900A GSM Module // 2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN). Vellore, India, 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/ViTECoN.2019.8899504

25. Li-Fi Technology Based Parking System Using GSM and GPS Module / K. Malarvizhi, S. Sandhya, S. Rathinamala, G. Deebanchakkarawartha // Journal of Technical Education. 2023. No. 253.

26. Simankov V. S., Buchatskiy P. Yu., Shopin A. V. Methodology of modeling physical processes in energy complexes with non-traditional energy sources and optimization of their parameters // Proceedings of the Physical Society of the Republic of Adygea. 1998. No. 3. P. 18–26. URL: <https://trudy.fora01.ru/files/73/3.PDF>

27. Development of the methodological basis of the simulation modelling of the multi-energy systems / K. Suslov, V. Piskunova, D. Gerasimov, E. Ukolova [at al.] // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 124. P. 01049. DOI: 10.1051/e3sconf/201912401049

28. Pfenninger S., Hawkes A., Keirstead J. Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 33. P. 74–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.003>

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Статья поступила в редакцию 29.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024; принята к публикации 11.03.2024.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*The article was submitted 29.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024; accepted for publication 11.03.2024.*

© С. В. Онищенко, А. Р. Мамий, Д. А. Василенко, С. С. Васюк, 2024