

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ. ПРОЕКТ МИКРО-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

РОМАНИУК Д.Н.¹, ТАРАСЮК А.В.¹

¹студент специальности 1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства (энергетика)»
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В ходе выполнения работы определена актуальность использования энергии водных потоков в Республике Беларусь. Проведён анализ факторов, влияющих на размещение объектов генерации, определён потенциал развития, возможности и преимущества гидроэнергетики в системах производства электроэнергии. Практическая значимость работы заключается в проведении технико-экономического обоснования строительства микро-ГЭС для обеспечения нужд санатория-профилактория в электрической энергии, повышении энергоэффективности генерации и возможности использования микро-ГЭС в качестве объекта изучения в образовательном процессе.

Ключевые слова: гидроэнергетический потенциал, гидроэнергетика, гидроэлектростанция, возобновляемая энергетика, технико-экономическое обоснование, малая генерация, эффективность, энергетика, электроснабжение.

THE HYDROPOWER POTENTIAL OF SMALL RIVERS IN BELARUS. MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANT PROJECT

ROMANIUK D.N.¹, TARASIUK A.V.¹

¹students of the specialty 1-27 01 01-10 «Economics and organization
of production (power engineering) »
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

In the course of the work, the relevance of using the energy of water flows in the Republic of Belarus was determined. The analysis of the factors influencing the location of generation facilities has been carried out, the development potential, opportunities and advantages of hydropower in power generation systems have been determined. The practical significance of the work lies in carrying out a feasibility study for the construction of micro-hydroelectric power plants to meet the needs of the sanatorium-dispensary in electric energy, increasing the energy efficiency of generation and the possibility of using micro-hydroelectric power plants as an object of study in the educational process.

Keywords: hydropower potential, hydropower, hydroelectric power plants, renewable energy, feasibility study, small generation, efficiency, energy, electricity supply.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией последних лет в сфере энергетики во всём мире является активное вовлечение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергетический баланс. Это обусловлено различными факторами:

- Становление «зелёной» экономики – модели, ориентирующейся на достижение устойчивого социально-экономического развития при снижении экологических угроз;
- Необходимость привлечения инвестиций в энергетику, модернизации генерирующих мощностей, внедрения современных технологий;

• Задача оптимизации деятельности топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целях достижения оптимального уровня энергетической безопасности обуславливает необходимость диверсификации баланса топливно-энергетических ресурсов. Ситуация на мировом рынке энергоресурсов демонстрирует необходимость развития генерирующих мощностей, не зависящих от импорта сырья: ТЭК РБ в силу низкого уровня обеспеченности собственным углеводородным ископаемым сырьём, практически полностью зависит от импортных ресурсов: Республика Беларусь входит в топ-20 наиболее энергозависимых стран мира – энергетическая зависимость составляет 83,8%.

Одним из актуальных вариантов решения данных проблем является развитие мощностей, использующих силу движения водных потоков – гидроэлектростанций (ГЭС). Это направление является наиболее развитым в области ВИЭ в мире [1, 2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представим анализ гидроэнергетического потенциала и функционирования объектов гидроэнергетики в Республике Беларусь. В Беларуси насчитывается более 20,8 тыс. рек и ручьев общей протяженностью 90,8 тыс. км, их суммарный среднегодовой сток составляет 58 км³. На данный момент в Республике Беларусь эксплуатируется 53 гидроэлектростанций установленной мощностью 96 МВт. (0,75 % от установленной мощности всех электростанций Республики Беларусь). В 2023 году ГЭС было выработано более 300 млн. кВт*ч электроэнергии (ЭЭ) (0,73 % от общей выработки в РБ). Потенциальная мощность всех водотоков достигает 850 МВт (ГЭП – 7,5 млрд. кВт*ч), в том числе технически доступная, т.е. практически достижимая на современном уровне развития технологий) – 520 МВт (ГЭП–2,5-3,0 млрд. кВт*ч), экономически целесообразная – 250 МВт. Данная величина постоянно меняется во времени в зависимости от энергетических и экономических условий страны. Так, с повышением цен на топливо отмечается тенденция приближения экономического потенциала к техническому. Все станции низконапорного типа, что обусловлено особенностями рельефа. Напор от 2 до 20 м и расход воды через турбину от 1 до 10 м³/с [3].

В результате анализа размещения ГЭС на территории республики можно сделать вывод, что их размещение неравномерно, что обусловлено физико-географическими особенностями. Наибольшая концентрация объектов представлена на территории бассейнов рек Западная Двина, Нёман, Припять, Днепр.

Исчерпание возможностей освоения крупных водотоков приводит к развитию малой гидроэнергетики. К этой области гидроэнергетики, имеющей свои технические особенности, относятся ГЭС малой мощности – малые ГЭС (от 1 до 10 МВт), мини-ГЭС (от 100 кВт до 1 МВт) и микро-ГЭС (менее 100 кВт), эксплуатирующие сток малых, средних и верховья крупных рек. Малая гидроэнергетика получила значительное развитие по причине небольших сроков окупаемости, минимальных площадей затопления, высокой степени автоматизации, обеспечения электроэнергией изолированных от энергосистемы (или требующих резервирования) потребителей, что дает, в конечном счете, преимущества для местного и регионального развития территорий. В то же время малая гидроэнергетика играет большую роль в обеспечении энергетической безопасности.

Малые и микро-ГЭС возможно устанавливаются не только на водотоках рек и ручьев, но и на промышленных водосбросах, очистных сооружениях, станциях аэрации, в рыбхозах и т.д.

На рисунке 1 представим SWOT-анализ развития гидроэнергетики в Республике Беларусь.

<p style="text-align: center;">Сильные стороны</p> <p>–Вода-возобновляемый ресурс; –Производство электроэнергии не сопровождается выделением углекислоты, окислов и др. вредных отходов; –Высокая эксплуатационная надёжность и устойчивость; –Низкая себестоимость производства электроэнергии; –Возможность работы в автоматическом режиме (низкие трудовые затраты при эксплуатации); –Высокие манёвренные характеристики; –СПИ – до 50 лет;</p>	<p style="text-align: center;">Слабые стороны</p> <p>–Технологическая эффективность для некоторых водотоков Беларуси; –Квоты –Сложности лицензирования –Потребность резервирования мощностей за счёт базовых станций; –Сокращение водного стока в зимний период;</p>
<p style="text-align: center;">Возможности</p> <p>–Увеличение уровня энергоэффективности; –Повышение устойчивости энергосистемы; –Рационализация использования ресурсов; –Повышение конкурентоспособности в условиях рыночной трансформации; –Развитие инноваций; –Развитие рекреационных зон; –Вода в водохранилищах может использоваться в качестве питьевой, для ирригации;</p>	<p style="text-align: center;">Угрозы</p> <p>–Затопление земель, изъятие их из с/х оборота; –Снижение скорости течения рек, замедление водообмена и самоочищения; –Вред для флоры и фауны – снижение уровня растворённого кислорода, препятствия для миграции рыб; –Непредсказуемые последствия аварийных ситуаций;</p>

Рисунок 1 – SWOT-анализ развития гидроэнергетики
Источник: собственная разработка авторов.

В рамках выполнения работы было проведено технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства микро-ГЭС на территории Республики Беларусь.

Большое значение для эффективности работы станции имеет выбор места для ее строительства. В первую очередь необходимо наличие двух факторов: гарантированная обеспеченность водой в течение всего года и как можно больший уклон реки. Для выбора территории были использованы данные Центрального НИИ комплексного использования водных ресурсов [4]:

1. Исследование градации средних и малых рек по их ГЭП в бассейнах Западной Двины, Днепра, Припяти;
2. Государственный водный кадастр;
3. Каталог «Общие характеристики перспективных площадок размещения ГЭС на средних и малых реках Беларуси».

Учитывая нормативно-правовую базу Республики Беларусь в области возобновляемых источников энергии, выбор сделан в пользу строительства микро-ГЭС для обеспечения собственных нужд владельца.

С учётом проведённого анализа нами была определена площадка «Вяча-4», расположенная вблизи д. Сёмково Минского района [5]. Основой для выбора данной площадки стало расположение на расстоянии 700 метров санатория-профилактория БНТУ «Политехник» (далее – СП). Вследствие этого нами было проведено обоснование строительства микро-ГЭС для обеспечения нужд СП в электрической энергии.

Представим данные гидрологических изысканий по данному объекту (рисунок 2).

Река, номер площадки	Вяча–4
Расстояние от устья до площадки, км	0,00
Площадь водосбора, км ²	297,00
Среднегодовой расход воды $Q_{50\%}$, м ³ /с	0,80
Минимальный расход воды в реке $Q_{95\%}$	0,46
Уровень воды при среднегодовом расходе воды (до размещения ГЭС), м БС	211,00
Напор, м	5,50
Гидроэнергетический потенциал (мощности ГЭС) при минимальном расходе воды для створа N95., кВт	24,80
Удельный гидроэнергетический потенциал при среднегодовом расходе воды N_L ср., кВт/км	4,60
Площадь затопления, км ²	1,00

Рисунок 2 – Характеристика перспективной площадки
Источник: собственная разработка авторов.

По представленным данным определим тип возводимой ГЭС:

- По установленной мощности – микро-ГЭС;
- В зависимости от напора – низконапорная;
- По расположению в составе гидроузла – русловая;
- По способу создания напора – готовый напорный фронт;
- По режиму работы – автономная [6].

Представим характеристику объекта снабжения: СП БНТУ «Политехник». Годовое потребление ЭЭ – 340 000 кВт · ч. Потребление в течение года принимаем постоянным.

Представим технический водозаэнергетический расчёт и экономическое обоснование для сооружения микро-ГЭС по методическим рекомендациям по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, разработанным Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [7]. Расчёт выполнен для среднего по водности года 50% обеспеченности. Работа рассчитывается для функционирования ГЭС в режиме водотока в связи с малой полезной ёмкостью водохранилища и при условии, когда в верхнем бьефе плотины поддерживается постоянный уровень воды.

1. Теоретическая мощность ГЭС:

$$N_{\text{теор}}^{\text{ГЭС}} = 9,81 \cdot Q \cdot H = 9,81 \cdot 0,80 \cdot 5,50 = 43,164 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где Q – среднемесячное значение расхода, м³/с;

H – величина напора (м);

Согласно расчёту, а также используя данные гидрологических изысканий, определим тип используемого гидросилового оборудования. Наиболее оптимальным вариантом являются реактивные турбины – турбины, использующие преимущественно потенциальную энергию потока (энергию давления). Исходя из технических характеристик для определённого напора и расхода воды выбираем турбинный генератор Фрэнсиса (радиально-осевая турбина) или пропеллерную турбину мощностью 50 кВт [8]. Данные типы турбин предназначены для использования при малых напорах, для них характерна компактность, высокая эффективность (КПД – до 96%). Для проведения технико-экономического обоснования выбираем гидроагрегат с пропеллерной турбиной.

2. Определим теоретическую выработку электроэнергии:

$$\mathcal{E}_{\text{теор}}^{\text{ГЭС}} = N_{\text{теор}}^{\text{ГЭС}} \cdot \Delta t = 43,164 \cdot 8760 = 378116,640 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

где Δt – интервал времени, в течение которого ГЭС работает с мощностью $N_{\text{теор}}^{\text{ГЭС}}$, $\Delta t = 8760$ ч.

Методика определения установленной мощности для объектов малой энергетики значительно упрощается по той причине, что удельный вес малых гидроэлектростанций в государственных энергосистемах составляет менее 2 %. Изменение их мощности практически не сказывается на работе энергосистемы.

3. Установленная мощность ГЭС:

$$N_{\text{уст}}^{\text{ГЭС}} = 9,81 \times Q \times H \times K = 9,81 \times 0,80 \times 5,50 \times 0,95 = 41,006 \text{ кВт}, \quad (3)$$

где K_{Γ} – коэффициент полезного действия гидроэнергетического оборудования, $K_{\Gamma} = 95 \%$;

4. Определим возможную выработку электроэнергии, учитывая ограничение по установленной мощности:

$$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ГЭС}} = N_{\text{уст}}^{\text{ГЭС}} \times \Delta t = 41,006 \times 8760 = 359212,560 \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \quad (4)$$

5. Определим количество электроэнергии, отпущенной малой ГЭС:

$$\mathcal{E}_{\text{отп}}^{\text{ГЭС}} = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ГЭС}} - \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ГЭС}} \times \left(1 - \frac{\alpha_{\text{сн}}^{\text{ЭЭ}}}{100}\right) = 359212,560 - 359212,560 \times 0,01 = 355620,434 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{сн}}^{\text{ЭЭ}}$ – коэффициент потребления электроэнергии на собственные нужды малой ГЭС (на электрическое оборудование), $\alpha_{\text{сн}}^{\text{ЭЭ}} = 1 \%$;

6. Определим экономию топлива от строительства малой ГЭС:

$$\Delta B^{\text{ГЭС}} = \mathcal{E}_{\text{отп}}^{\text{ГЭС}} \times b_{\text{ЭЭ}}^{\text{зам}} \times 10^{-6} = 355620,434 \times 298,6 \times 10^{-6} = 106,188 \text{ т.у.т./год}, \quad (6)$$

где $b_{\text{зам}}^{\text{ЭЭ}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г.у.т./кВт · ч;

7. Определим капитальные вложения в сооружение станции (стоимость оборудования определена согласно [8]):

$$K = K_{\text{об}} + K_{\text{см}} + K_{\text{проект}} + K_{\text{зем}} = 43000 + 72562,5 + 18812,5 = 134375 \text{ у.е.}; \quad (7)$$

8. Затраты на амортизацию ОС:

$$I_{\text{ам}} = N_{\text{а}} \cdot K = 0,1 \cdot 134375 = 13437,5 \text{ у.е.}; \quad (8)$$

9. Эксплуатационные затраты ГЭС [9]:

$$S^{\text{ГЭС}} = 996 \cdot (N_{\text{теор}}^{\text{ГЭС}})^{0,543} = 996 \cdot (43,164)^{0,543} = 7481,7 \text{ у.е.}; \quad (9)$$

10. Суммарные затраты ГЭС:

$$I = I_{\text{ам}} + S^{\text{ГЭС}} = 13437,5 + 7481,7 = 20919,2 \text{ у.е.}; \quad (10)$$

11. Себестоимость производства ЭЭ:

$$C = I / \mathcal{E}_{\text{отп}} = 20919,2 / 355620,434 = 0,058 \text{ у.е./кВт} \cdot \text{ч}; \quad (11)$$

Показатели экономической эффективности проекта:

– Доход ГЭС (Д) равен стоимости проданной в сеть электроэнергии по тарифу для бюджетных организаций:

$$D = \tau \cdot \mathcal{E}_{\text{отп}}^{\text{ГЭС}} = 0,116 \cdot 355620,434 = 41336,68 \text{ у.е.}; \quad (12)$$

– Расчётный период принимаем 10 лет.

– Чистый дисконтированный доход – ЧДД = 52554,13 у.е.;

– Внутренняя норма доходности – ВНД = 17,88 %;

– Индекс доходности – $I_{\text{д}} = 1,39$;

– Срок окупаемости (динамический) – $T_{\text{ок}}^{\text{дин}} = 6,18$ лет;

– Доход ГЭС равен экономии СП на электроэнергию.

Для повышения эффективности и надёжности снабжения объекта возможно создание комплексной электростанции, к примеру сочетание ГЭС с СЭС.

ВЫВОДЫ

Положительным эффектом от строительства данной микро-ГЭС станут следующие аспекты (рисунок 3):

Экономические	– Снижение расходов на оплату услуг; –Высокая экономическая эффективность проекта; –Возможность продажи излишков в сеть (в долгосрочной перспективе); –Экономия топлива;
Экологические	–Снижение негативного влияния на окружающую среду;
Социальные	–Содействие достижению ЦУР; –Совершенствование знаний студентов, использование в качестве объекта изучения; –Развитие экологической культуры; –Отнесение БНТУ к числу «зелёных» ВУЗов;
Технические	–Автономность электроснабжения;

Рисунок 3 – Эффект от внедрения проекта
Источник: собственная разработка авторов.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что представленный проект показал свою экономическую целесообразность. Его реализация позволит снизить расходы на электроснабжение целевого объекта, снизить негативное влияние на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Романюк, Д.Н. Энергетический переход в Республике Беларусь / Д.Н. Романюк // Бутаковские чтения: сборник статей II Всероссийской с международным участием молодёжной конференции / под ред. А.С. Заворина ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. - С. 584-587.
2. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 декабря 2015 г. №1084 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2015.
3. Романюк, Д.Н. Гидроэнергетический потенциал малых рек Республики Беларусь / Д.Н. Романюк // Современные технологии и экономика энергетики: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 27 апреля 2023 г. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 109-111
4. Общие характеристики перспективных площадок размещения ГЭС на средних и малых реках Беларуси. [Электронный ресурс] // РУП «ЦНИИКИВР». – Режим доступа: http://www.cricuwr.by/catalog_hep/. – Дата доступа: 13.10.2023.
5. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2023. – Режим доступа: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>. – Дата доступа: 12.10.2023.
6. Комплексное использование водных ресурсов: учебно-методическое пособие / В. К. Курсаков [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – 331 с.
7. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/20201118_tepem. – Дата доступа: 15.03.2024.
8. ЗАО «МНТО ИНСЭТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inset.ru/>. – Дата доступа: 17.10.2023.
9. Экономика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии : практикум для студентов специальности 1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства (энергетика)» / сост.:И.А. Бокун, Е. П. Корсак. – Минск: БНТУ, 2020. – 58 с.
10. Шалдаева, Л. И. К вопросу формирования и развития «зеленого» и устойчивого финансирования / Л. И. Шалдаева // Социально-экономическое развитие региона: опыт, проблемы, инновации : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Смоленск, 31 мая 2022 года. – Смоленск: Маджента, 2022. – С. 153-161.

REFERENCES

1. Romanyuk, D.N. Energy transition in the Republic of Belarus / D.N. Romanyuk // Butakov readings: collection of articles of the II All-Russian Youth Conference with international participation / edited by A.S. Zavorin ; Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2022. - pp. 584-587.
2. The concept of energy security of the Republic of Belarus: resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus. Belarus No. 1084 dated December 23, 2015 // ETALON. Legislation of the Republic of Belarus / National Center for Legal Information. Rep. Belarus. Minsk, 2015.
3. Romanyuk, D.N. Hydropower potential of small rivers of the Republic of Belarus / D.N. Romanyuk // Modern technologies and economics of energy: materials of the International Scientific and Practical Conference, April 27, 2023 - St. Petersburg: POLYTECHNIC PRESS, 2023. – pp. 109-111.
4. General characteristics of promising sites for the placement of hydroelectric power plants on medium and small rivers of Belarus. [Electronic resource] // RUE "TSNIKIIVR". – Access mode: http://www.cricuwr.by/catalog_hep/. – Access date: 10.03.2024.
5. State Cadastre of Renewable Energy Sources [Electronic resource] / Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus. – Minsk, 2023. – Access mode: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map> . – Access date: 10.03.2024.
6. Integrated use of water resources: an educational and methodological manual / V. K. Kursakov [et al.]. – Gorki : BGSHA, 2022. – 331 p.
7. Methodological recommendations for the preparation of feasibility studies for energy-saving measures [Electronic resource] // Department of Energy Efficiency of the State Committee for Standardization of the Republic of Belarus. – Access mode: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/20201118_tepem . – Access date: 10.03.2024.
8. CJSC "MNTO INSET" [Electronic resource]. – Access mode: <https://inset.ru/> . – Access date: 10.03.2024.
9. Economics of non-traditional and renewable energy sources: a workshop for students of specialty 1-27 01 01-10 "Economics and organization of production (energy)" / comp.:I.A. Bokun, E. P. Korsak. – Minsk: BNTU, 2020. – 58 p.
10. Shaldaeva, L. I. On the issue of formation and development of "green" and sustainable financing / L. I. Shaldaeva // Socio-economic development of the region: experience, problems, innovations : Materials of the IX International Scientific and Practical Conference, Smolensk, May 31, 2022. Smolensk: Magenta, 2022. pp. 153-161.