

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 504.453/556.53

**В. Н. Корнеев, Л. Н. Гертман, И. А. Булак**

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,  
Минск, Беларусь, e-mail: v\_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i\_bulak@tut.by*

### **ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СРЕДНИХ И МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНОВ ЗАПАДНАЯ ДВИНА, ДНЕПР, ПРИПЯТЬ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

**Аннотация.** В последние годы наряду с остальными возобновляемыми источниками энергии возрастает роль гидроэнергетики, которая основана на использовании экологически чистой энергии водных потоков и позволяет комплексно решать проблемы водоснабжения, орошения, защиты от наводнений, значительно при этом уменьшая выбросы в окружающую среду. Представлены результаты исследований по оценке гидроэнергетического потенциала средних и малых рек бассейнов Западной Двина, Днепр, Припять.

**Ключевые слова:** гидроэнергетический потенциал, гидрологический режим, морфометрические характеристики, кадастровый график, государственный кадастр возобновляемых источников энергии

**V. N. Korneev, L. N. Hertman, I. A. Bulak**

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,  
e-mail: v\_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i\_bulak@tut.by*

### **HYDROPOWER POTENTIAL OF MEDIUM AND SMALL RIVERS IN THE BASINS OF THE WESTERN DVINA, DNIEPER, PRIPYAT OF BELARUS**

**Abstract.** In recent years the role of hydropower has been growing along with other renewable energy sources. It is based on the use of environmentally friendly energy of water flows and helps to solve comprehensively such problems, as water supply, irrigation, flood protection, while significantly reducing environmental emissions. The publication presents the results of studies on assessment the hydropower potential of medium and small rivers in the Western Dvina, Dnieper and Pripyat river basins.

**Keywords:** hydropower potential, hydrological regime, morphometric characteristics, cadaster graph, state cadaster of renewable energy sources

**У. М. Карнееў, Л. М. Гертман, І. А. Булак**

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,  
e-mail: v\_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i\_bulak@tut.by*

### **ГІДРАЭНЕРГЕТЫЧНЫ ПАТЭНЦЫЯЛ СЯРЭДНІХ І МАЛЫХ РЭК БАСЕЙНАЎ ЗАХОДНЯЯ ДЗВІНА, ДНЕПР, ПРЫПЯЦЬ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ**

**Аннотацыя.** У апошнія гады разам з астатнімі аднаўляльнымі крыніцамі энергіі ўзрастае роля гідраэнергетыкі, якая заснавана на выкарыстанні экалагічна чыстай энергіі водных патокаў і дазваляе комплексна вырашаць праблемы водазабеспячэння, арашэння, абароны ад паводак, значна пры гэтым памяншаючы выкіды ў навакольнае асяроддзе. Прадстаўлены вынікі даследаванняў па ацэнцы гідраэнергетычнага патэнцыялу сярэдніх і малых рэк басейнаў Заходняй Дзвіна, Днепр, Прыпяць.

**Ключавыя словы:** гідраэнергетычны патэнцыял, гідралагічны рэжым, морфаметрычныя характарыстыкі, кадастры графік, дзяржаўны кадастр аднаўляльных крыніц энергіі

**Введение.** Существующие в настоящее время прогнозы показывают, что мировое потребление электроэнергии вырастет к 2030 г. по сравнению с 2000 г. в 2, а к 2050 г. – в 4 раза. В этой связи наряду с остальными возобновляемыми источниками энергии возрастает роль гидроэнергетики, которая основана на использовании экологически чистой энергии водных потоков и позволяет одновременно со значительным уменьшением выбросов в окружающую среду комплексно решать проблемы водоснабжения, орошения, защиты от наводнений и т.д.

Исчерпание возможностей освоения крупных водотоков приводит к развитию малой гидроэнергетики. К этой области гидроэнергетики, имеющей свои технические особенности, относятся ГЭС малой мощности – малые ГЭС, эксплуатирующие сток малых, средних и верховья крупных рек. К малым ГЭС относят станции установленной мощности от 1 до 10 МВт [1]. В последние годы в нашей стране был создан целый ряд крупных ГЭС – Гродненская на р. Неман, Витебская и Полоцкая на р. Западная Двина. В перспективе планируется строительство Немновской и Бешенковичской ГЭС на реках Неман и Западная Двина соответственно.

Малая гидроэнергетика получила значительное развитие по причине небольших сроков окупаемости, минимальных площадей затопления, 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.

Важной задачей при использовании водно-энергетического потенциала средних и малых рек является проведение на них инвентаризации перспективных створов размещения гидроэнергетических установок и определение эффективности строительства объектов гидроэнергетики с учетом экологических аспектов их внедрения.

До настоящего времени основным источником данных по гидроэнергетическому потенциалу (ГЭП) средних и малых рек Беларуси являлся водно-энергетический кадастр Белорусской ССР, разработанный в 1962 г., в котором представлены водно-энергетические характеристики 353 рек Беларуси. Приведенные в нем данные за более чем 50 лет значительно потеряли свою актуальность и требуют существенного уточнения и кардинальной переработки с учетом изменившихся природных условий, видов хозяйственной деятельности на водосборе.

**Методика исследований.** Для актуализации данных по ГЭП средних и малых рек Беларуси РУП «ЦНИИКИВР» с 2016 г. проводит исследования по разработке каталога створов размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала средних и малых рек Беларуси (с учетом существующих и перспективных створов ГЭС) для основных речных бассейнов Западной Двины, Днепра, Припяти, Немана и Западного Буга. Исследования проводятся в рамках задания 2.1.4 подпрограммы II «Устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды» Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски», 2016–2020 гг.

За период с 2016 по 2019 г. был проведен комплекс исследований по актуализации информации основных морфометрических и гидрологических (с использованием данных Белгидромета) характеристик средних и малых рек бассейнов Западная Двина, Днепр и Припять для определения их ГЭП. В 2020 г. продолжаются работы по оценке ГЭП средних и малых рек бассейнов Неман и Западный Буг.

Различают три понятия ГЭП, характеризующего запасы гидроэнергоресурсов: теоретический (или валовой) – полная суммарная энергия речного стока страны; технический – часть теоретического потенциала, которая путем выработки электроэнергии на ГЭС или иными техническими средствами может быть использована; экономический – часть технического потенциала, которая может быть реализована как экономически эффективное мероприятие.

Экономически эффективная часть гидроэнергоресурсов – величина, меняющаяся во времени в зависимости от энергетических и экономических условий страны. Так, с повышением цен на топливо отмечается тенденция приближения экономического потенциала к техническому.

В общем виде алгоритм определения ГЭП малых и средних рек состоит из десяти блоков, взаимодействие которых представлено на рис. 1.

При анализе гидрологической изученности бассейна реки определяется возможный вариант расчета гидрологических параметров (стока) в зависимости от наличия или отсутствия данных наблюдений за многолетний период. Оптимальным исходным рядом наблюдений считается ряд длиной от 40 лет. При наличии коротких рядов возможно их удлинение с использованием метода аналогии. При отсутствии данных наблюдений анализируется возможность использования метода аналогии, или применение расчетных формул. Метод аналогии применяется при наличии достаточно надежного водотока аналога.

Анализ исходной картографической информации подразумевает выбор для исследуемого бассейна существующей топографической информации, определение степени возможности ее использования для построения продольных профилей (наличие и частота нанесения отметок меженных уровней по длине реки, сечение горизонталей) выбора мест размещения расчетных створов. При недостаточной изученности водотока, для уточнения и дополнения картографической информации необходимым условием проведения дальнейших расчетов является проведение полевых экспедиционных исследований. Экспедиционные исследования позволяют получить недостающую информацию для уточнения гидрологических характеристик и дополнения картографических материалов.

При определении границ участков расчета анализируется топографическая информация и построенный продольный профиль водотока. Границы участков назначаются исходя из суще-

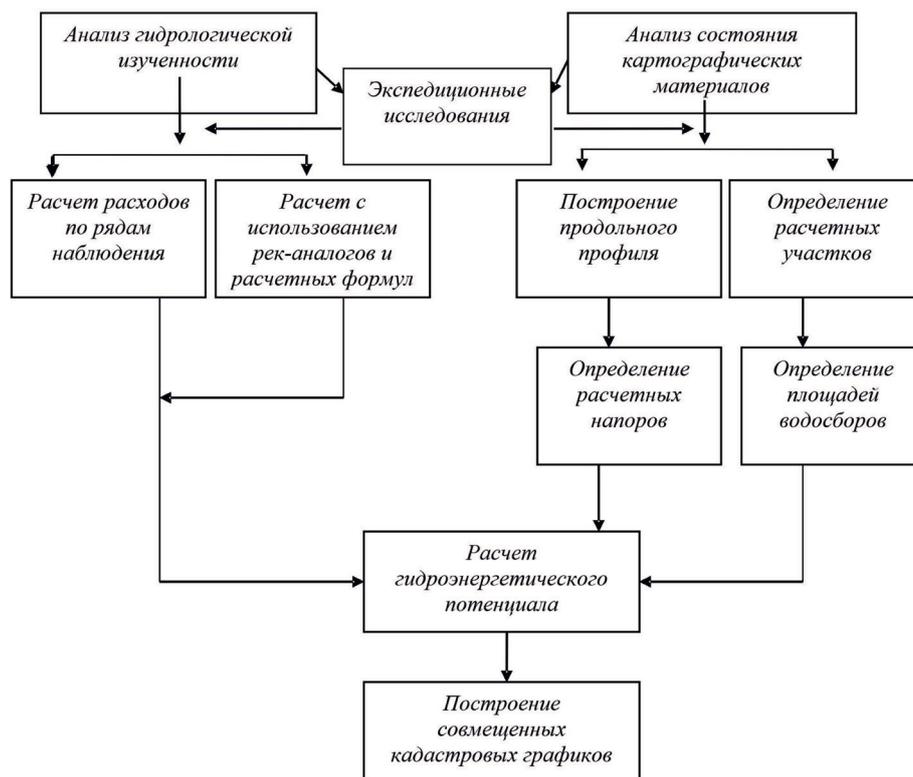


Рис. 1. Алгоритм расчета ГЭП малых и средних рек

ственного приращения водосборной площади, резкого изменения уклона свободной поверхности водотока.

Створы площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала определяются с учетом минимизации затопления прилегающих территорий и объектов при размещении плотин водохранилищ ГЭС с выполнением условий по обеспечению достаточного напора для функционирования ГЭС. Помимо этого, перспективные площадки не должны располагаться на территориях особо охраняемых природных территорий.

В бассейне Западной Двины обоснован перечень из 58 рек с размещением на них 324 площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала; для бассейна Днепра – перечень из 95 рек с размещением на них 371 площадки; в бассейне Припяти – перечень из 52 рек с размещением на них 187 площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для предложенных створов рек определяются основные гидрологические характеристики. Для рек, по которым имеются регулярные наблюдения Белгидромета их гидрологического режима, данные характеристики определяются с использованием результатов этих наблюдений, а для рек, не имеющих указанной информации, – путем прямых гидрометрических измерений в ходе проведения РУП «ЦНИИКИВР» экспедиционных исследований.

По результатам измерений выполняются гидрологические расчеты расходов воды, а также последующие расчеты по определению расходов воды для различных гидрологических условий с использованием расчетного по данным измерений расхода воды. По фондовым данным и в ходе экспедиционных исследований также определяются морфометрические характеристики русла и долин рек, выполняется оценка состояния существующих водохранилищ для перспективного размещения гидроузлов ГЭС. Далее производится расчет характеристик продольного профиля рек в зависимости от водности водных объектов с учетом прогнозных оценок изменения стока рек в условиях изменения климата (рис. 2).

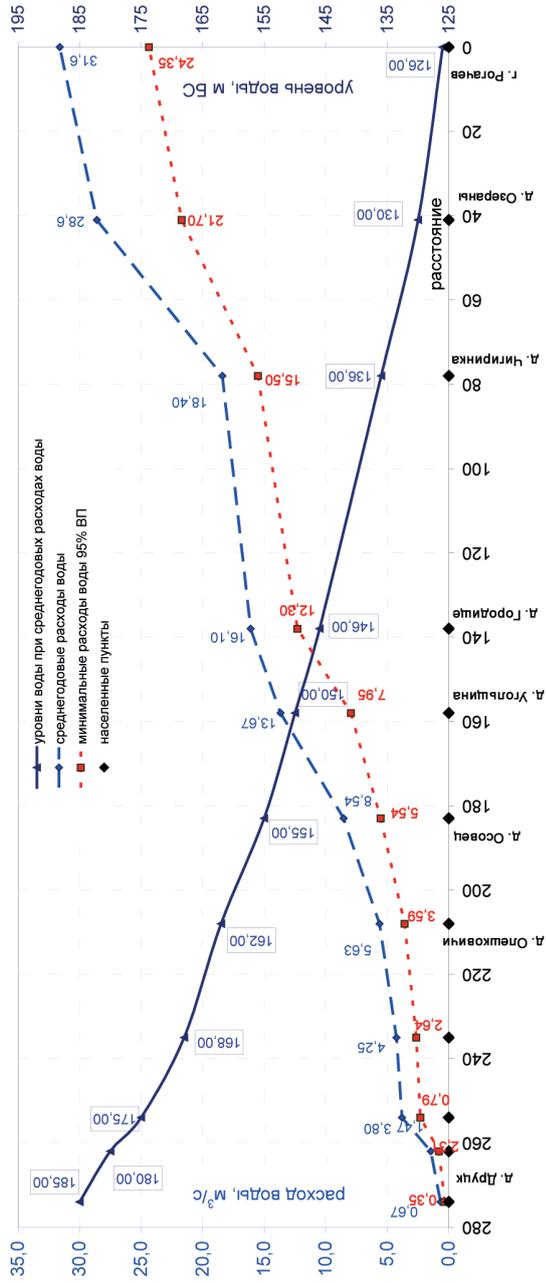


Рис. 2. Пример продольного профиля свободной поверхности, среднегодовые и минимальные расходы воды р. Дружба с учетом перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП

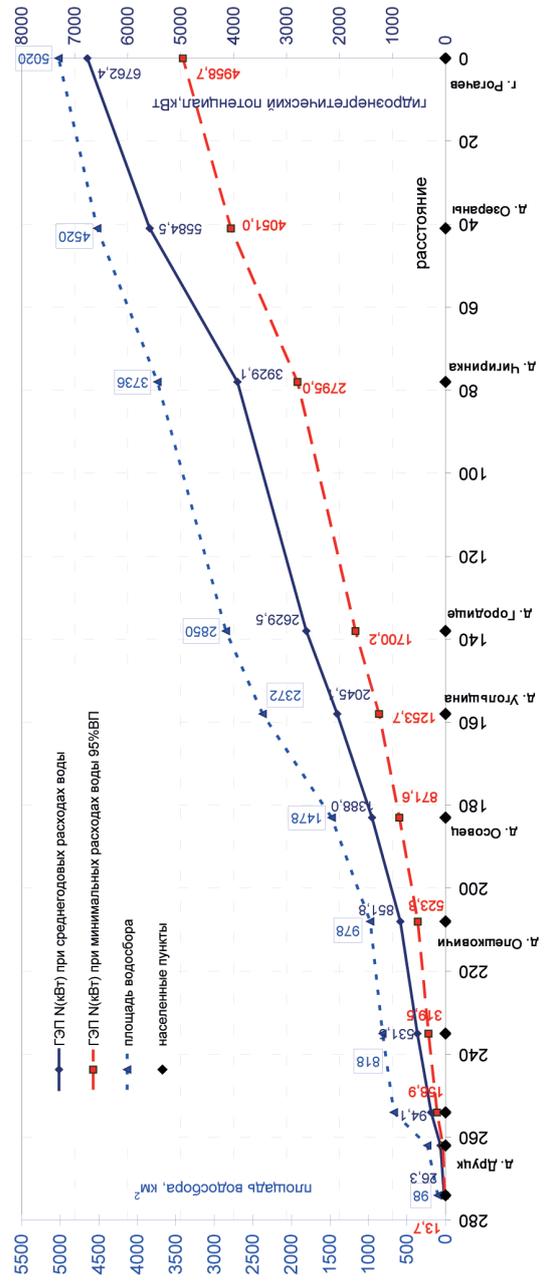


Рис. 3. Пример кадастрового графика р. Дружба с учетом перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП

По определенным оптимальным расчетным напорам гидрологической и общей морфометрической информации для двух гидрологических условий (при среднемноголетних расходах воды и расходах воды для маловодного года 95 %-ной вероятности превышения/обеспеченности) выполняются расчеты ГЭП – мощности малой ГЭС по водотоку без учета коэффициента полезного действия (КПД) энергетического оборудования по следующей формуле [2]:

$$N_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} = 9,81Q_i H_i, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – среднемноголетний расход воды в реке на расчетном  $i$ -м участке и расход воды для маловодного года 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности), возможный к использованию на малых ГЭС, м<sup>3</sup>/с;  $H_i$  – оптимальный напор на  $i$ -м участке.

Среднеинтервальная выработка электроэнергии малых ГЭС, обеспеченная расходом и напором (без учета ограничения установленной мощности малых ГЭС, представляющей собой сумму номинальных (паспортных) мощностей, установленных на станциях гидроагрегатов), вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} = N_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} \Delta t, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – расчетный интервал времени, ч (при  $\Delta t = 8760$  ч, величина  $\mathcal{E}_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}}$  соответствует выработке электроэнергии в годовом разрезе).

Для предложенных перспективных площадок определяются энергетические характеристики с использованием формул (1), (2) и выполняется построение кадастровых графиков для двух гидрологических условий (указанных выше) с наложением графика нарастания площади водосбора (рис. 3).

По результатам выполненных расчетов суммарный ГЭП средних и малых рек бассейна Западной Двины при среднемноголетних расходах воды составляет 71,1 МВт, при расходах воды маловодного года 95 %-ной обеспеченности – 39,2 МВт. Для бассейна Днепра данные показатели составляют 124,1 и 84,0 МВт соответственно, для бассейна Припяти – 41,1 и 21,4 МВт. На рис. 4 и в таблице представлена градация средних и малых рек бассейнов Западной Двины, Днепра и Припяти по их ГЭП.

**Градация средних и малых рек по их ГЭП в бассейнах Западной Двины, Днепра, Припяти**

Суммарный ГЭП, кВт при среднемноголетних расходах воды	Бассейн Западной Двины		Бассейн Днепра		Бассейн Припяти	
	количество рек	количество рек, %	количество рек	количество рек, %	количество рек	количество рек, %
Менее 500	26	44,8	74	76,3	37	71,2
500–1000	13	22,4	10	10,3	4	7,7
1000–2000	12	20,7	5	5,2	6	11,5
Более 2000	7	12,1	8	8,2	5	9,6

Как видно из рис. 4 и таблицы, в большей части средних и малых рек бассейна Днепра довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт). Всего 13 рек имеют суммарный ГЭП свыше 1 МВт, в том числе для 8 рек (Сож, Березина, Свислочь, Друть, Ипать, Проня, Беседь, Остер) суммарный ГЭП составляет свыше 2 МВт. Что касается бассейна Западной Двины, то лишь менее половины средних и малых всех рек имеют довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт), для 33 рек суммарный ГЭП составляет свыше 1 МВт, в том числе 7 рек (Дрисса, Дисна, Оболь, Улла, Лучеса, Каспля, Ушача) имеют суммарный ГЭП свыше 2 МВт.

Большая часть рек бассейна Припяти имеет довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт), и лишь для 11 рек суммарный ГЭП свыше 1 МВт, в том числе 5 рек (Случь, Стырь, Уборть, Горынь, Птичь) имеют суммарный ГЭП свыше 2 МВт. По сравнению с ГЭП средних и малых рек бассейнов Западной Двины и Днепра, бассейн Припяти отличается меньшими значениями водно-энергетических характеристик ввиду относительной равнинности бассейна, отсутствия больших уклонов. Суммарный ГЭП средних и малых рек бассейна Припяти при среднемноголетних



Рис. 4. Суммарный ГЭП средних и малых рек в бассейнах Западной Двины, Днепра и Припяти

расходах воды меньше аналогичного показателя бассейнов Западной Двины и Днепра соответственно в 1,73 и 3,02 раза, а при расходах воды маловодного года 95 %-ной обеспеченности – в 1,83 и 3,93 раза соответственно.

По результатам определения ГЭП составляется каталог перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП средних и малых рек Беларуси. Состав каталога разработан с учетом структуры базы данных Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [3]. Каталог содержит расчетную информацию для перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП средних и малых рек Беларуси. Расчетная информация содержит следующие характеристики в табличном и в графическом виде: кривые нарастания площади водосбора по длине водотоков; зависимости среднегодовых расходов от площадей водосборов; зависимости 95 %-ной обеспеченности от площадей водосборов; возможные мощности в зависимости от площадей водосборов и водности; выработку электроэнергии в годовом разрезе. Расчетная информация содержит также в табличном виде характеристики расчетных створов рек и водохранилищ, включая их географические координаты, расходы воды заданных

вероятностей превышения (обеспеченностей), значения расчетных напоров, площадей водосборов, а также площадей, емкостей и глубин водохранилищ (средней и максимальной).

Расчет экономической эффективности перспективных площадок основан на определении срока окупаемости малой ГЭС. Расчет выполняется по используемой для этого в мировой практике стоимости капиталовложений на размещение ГЭС (проектирование, строительство, компенсационные выплаты за воздействие на различные компоненты окружающей среды), которые определяются по удельным капиталовложениям на 1 кВт установленной мощности. При этом используется величина фактической средней удельной стоимости капиталовложений на 1 кВт в Беларуси с учетом построенных ГЭС, которая ориентировочно составляет в эквиваленте 6236 долл. США/1 кВт.

Дополнительно к этим затратам добавляются компенсационные выплаты, обусловленные затоплением земель при размещении водохранилищ ГЭС, согласно кадастровой стоимости территорий Республики Беларусь, определенной Национальным кадастровым агентством.

К доходам относится годовая выработка электроэнергии ГЭС с учетом средней стоимости произведенной электроэнергии. Ориентировочный расчетный срок окупаемости ГЭС позволит в будущей практической деятельности обосновывать приоритетные площадки для привлечения инвестиций в размещение ГЭС.

**Заключение.** Проведенная оценка ГЭП средних и малых рек бассейнов Западной Двина, Днепр, Припять подтверждает тезис о том, что гидроэнергетические ресурсы распределены по территории Беларуси неравномерно [4, 5]. Наиболее перспективным для создания ГЭС является бассейн реки Западной Двина и верхняя часть речного бассейна Днепр. Данные территории отмечаются благоприятным рельефом, достаточными значениями уклонов, хорошей водообеспеченностью, наличием существующих водохранилищ.

Экономическая эффективность при строительстве ГЭС оценивается за счет наличия необходимой информации о перспективных площадках, включая их основные морфометрические, гидрологические и гидроэнергетические характеристики, полученной в результате выполнения задания, которые необходимы на стадии проектирования. Данная экономическая эффективность по всем перспективным площадкам может составить суммарно для бассейнов рек Западной Двина, Днепр, Припять более 5 млн руб. и достигается путем экономии средств на стадии проектирования.

#### Список использованных источников

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь об утверждении Государственной программы строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь № 1838 от 17 декабря 2010 г.
2. ТКП 45-3.04-299-2014 (02250). Малые ГЭС. Правила проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2014. – С. 6–9.
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.08.2011 № 29. Инструкция о некоторых вопросах ведения государственного кадастра возобновляемых источников энергии.
4. Лопух, П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух. – Минск, 2000.
5. Географический атлас учителя. – Минск, 2016.

*Поступила 12.08.2020*