

## Технико-экономический анализ переоборудования исторической плотины в малую гидроэлектростанцию

*Д.М. Габдушев<sup>1</sup>, В.В. Буслов<sup>2</sup>, С.В. Гусев<sup>2</sup>, И.И. Бердышев<sup>1</sup>,  
Р.Ж. Габдушев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

<sup>2</sup>*Россети Московский регион*

<sup>3</sup>*Самарский государственный технический университет*

**Аннотация:** В работе рассмотрены возможности и препятствия интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мегаполисах на примере г. Москва. Был проведен анализ применяемых технологий генерации на основе ВИЭ с учетом их применимости в крупных городах. Особое внимание уделено переоборудованию неиспользуемых исторических плотин в малые гидроэлектростанции (МГЭС) в качестве интеграции ВИЭ в мегаполисах. По результатам проведенного технико-экономического анализа было выявлено, что переоборудование неиспользуемой плотины на р. Яуза в МГЭС является обоснованным.

**Ключевые слова:** малая гидроэлектростанция, неиспользуемая плотина, мегаполис, интеграция возобновляемых источников энергии.

К концу двадцатого века в ряде энергосистем начал происходить «энергетический переход». Данный переход характеризуется повышением энергетической эффективности. В соответствии с Планом мероприятий по реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, необходимо обеспечить реализацию проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Потенциалу использования ВИЭ в удаленных труднодоступных местах с дорогим традиционным топливом или в регионах с низкой стоимостью земли было посвящено относительно много работ, например [1, 2]. В данной работе рассматриваются возможности и препятствия интеграции ВИЭ в крупных городах и мегаполисах на примере г. Москва. В качестве возможного решения в рамках устойчивого развития предлагается рассмотреть переоборудование исторических и неиспользуемых плотин в малые гидроэлектростанции (МГЭС).

---

## **Актуальные технологии генерации на основе ВИЭ относительно их применимости в условиях мегаполиса**

- *Энергия ветра и солнца.* Солнечные и ветряные электростанции требуют значительную площадь земли под их установку, что при рассмотрении мегаполиса не рентабельно. Установка фотоэлектрических установок на крышах оправдана в частном секторе при потреблении для собственных нужд. В жилых районах города возникают сложности в регулировании взаимоотношений с управляющими компаниями и собственниками зданий. Помимо этого, в диссертации [3] по результатам исследования сделан вывод о недостаточности энергетических характеристик энергии ветра и солнца в мегаполисах для их эффективного использования.

- *Энергия биомассы (Биогазовые установки).* Биогаз обладает преимуществом при его сравнении с солнечными и ветровыми электростанциями относительно зависимости выработки электроэнергии от внешних факторов. Однако для установки биогазовых установок в мегаполисах нет достаточного количества места, а также возникают трудности с транспортировкой биомассы. Применение данной технологии рентабельно при устройстве подобных установок вблизи предприятий, являющихся поставщиками биомассы. Данное решение актуально в большей степени для сельской местности, либо на окраинах городов.

- *Геотермальная энергия.* Широко используются геотермальные электростанции в изолированных энергосистемах. На текущий момент российский геотермический потенциал считается разведанным [2]. Согласно схеме и программе развития электроэнергетики Камчатского края на 2022-2026 годы, самый крупный город, в котором установлена геотермальная электростанция, является г. Петропавловск-Камчатский (электростанция имеет мощность 8 МВт). В мегаполисах в большинстве случаев нет месторождений с высокопотенциальным геотермальным ресурсом

---

непосредственно у поверхности, а при бурении и проведении геотермальных исследований возникают сложности из-за наличия обширной инфраструктуры, такой как коммуникации, метро и прочее.

- *Энергия воды.* Гидроэнергетика является традиционным видом ВИЭ, а также зрелой технологией с хорошо отработанными решениями. Коэффициент энергоэффективности (energy payback ratio), определяемый, как отношение общей энергии, произведенной в течение нормального срока службы объекта, деленный на энергию, необходимую для ее создания, является достаточно высоким у ГЭС относительно других видов ВИЭ и составляет от 205 до 267. Для энергии ветра данный коэффициент равен 39, для энергии солнца и биомассы – 9 и 27 соответственно [4]. Однако ГЭС могут оказывать и негативное воздействие на экологию в тех местах, где плотины, дамбы и изменения речного потока могут нарушить экосистему. Помимо этого, гидроэлектростанции являются капиталоемкими и их срок окупаемости намного выше, по сравнению с остальными способами получения электроэнергии. Гидроэлектростанция включает в себя компоненты гражданского (плотины, туннели, здания и пр.), механического, гидросилового и электротехнического строительства. Значительную долю затрат при сооружении плотинных ГЭС составляет стоимость возведения плотины, водозаборных сооружений и водохранилища. Поэтому малые гидроэлектростанции в частных случаях можно рассматривать, как наиболее рентабельные решения с учетом меньших затрат на строительство, а также меньшего воздействия на окружающую среду. Однако строительство новых плотинных малых ГЭС с нуля в крупных городах осложнено уже существующей инфраструктурой.

Таким образом, переоборудование неиспользуемых исторических плотин в МГЭС можно рассматривать, как наиболее эффективное решение в рамках реализации устойчивого развития и интеграции ВИЭ в мегаполисах.

---

Одним из основных преимуществ такого подхода является отсутствие необходимости строительства новой плотины, отчуждения и затопления территорий. Это позволяет максимально эффективно использовать доступные ресурсы. В исследовании [5] отмечается высокая эффективность внедрения МГЭС в существующую речную инфраструктуру городов в Египте. В работе [6] также рассмотрена целесообразность установки МГЭС в городе Турин (Италия) и преобразование исторической плотины в мини-ГЭС. Согласно СТО РусГидро «Методика разработки внестадийной предпроектной документации малых ГЭС», наличие уже существующих сооружений (водозаборных, подпорных и других) различных водопользователей является экономически эффективным решением для выбора площадок для размещения МГЭС.

### **Пример переоборудования гидроузла в МГЭС в г. Москва**

Сыромятнический гидроузел, расположенный в Москве на реке Яузе, является единственным из четырех запланированных судоходных гидроузлов, построенных в рамках плана обводнения города Москвы, утвержденного в Генеральном плане 1935 года. Гидроузел расположен в трех километрах от устья реки и занимает участок между Золоторожской набережной (левый берег) и набережной академика Туполева (правый берег). Шлюз совместно с водосливной плотиной были построены для превращения реки в судоходную реку. На текущий момент гидроузел выполняет функцию поддержания определенного уровня воды в реке и является историческим объектом (фото водосливной плотины – рисунок 1).

Согласно спутниковым картам, рядом с рассматриваемым гидроузлом располагается ПС 110 кВ Яузская. Плотина от рассматриваемой подстанции находится на расстоянии не более 200 метров.



**Рисунок 1.** Водосливная плотина

Мощность МГЭС по водотоку определяется по следующему выражению:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta,$$

где  $Q$  - расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  - напор воды, подведенной к гидротурбине;  $\eta$  - КПД гидроэлектростанции.

Подведенный к турбине напор равен разности уровней в верхнем и нижнем бьефе за вычетом гидравлических потерь. Водосливная плотина имеет напор 4 метра [7]. Гидравлические потери незначительны и при данной оценке ими пренебрегают. Расход воды через створ принимается равным  $5,9 \text{ м}^3/\text{с}$  [8], КПД гидроэлектростанции принимается равным 0,85 [9]. Потенциальная мощность МГЭС равна:

$$P = 9,81 \cdot 5,9 \cdot 4 \cdot 0,85 = 196,8 \text{ кВт}$$

Таким образом, при переоборудовании существующего гидроузла номинальная мощность МГЭС равна 196,8 кВт.

---

## Технико-экономический анализ целесообразности переоборудования гидроузла

Капитальные затраты включают в себя стоимость гражданских сооружений (плотины, туннели, здания для обслуживания), электрического и механического оборудования (турбина, генератор, трансформатор и т.д.), а также линий электропередач и строительно-монтажных работ. Следует отметить, учитывая наличие уже существующей плотины и близости нахождения гидроузла к подстанции, по большей части компоненты затраты на строительство малой гидроэлектростанции будут значительно снижены. Типичные капитальные затраты для МГЭС сегодня варьируются от 1500\$ до 6000\$ [4, 10]. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 01.06.2021 N 1446-р базовая предельная величина капитальных затрат на возведение 1 кВт установленной мощности генерирующего объекта установленной мощностью менее 25 МВт, функционирующего на основе энергии вод на 2023 год равна 146 тыс. рублей (1825 \$). Строительные работы составляют 40% от финансирования проектов МГЭС [11]. Учитывая распределение финансирования по типам строительных работ для плотинных ГЭС в работе [11], экономия затрат за счет переоборудования существующего гидроузла принимается равной 35% от капиталовложений. Типичный срок службы ГЭС варьируется от 40 до 80 лет [9]. В течение срока службы 80 лет, как правило, возникает необходимость замены большей части электрического и механического оборудования. Учитывая это, срок службы для расчета принимается равным 40 лет, амортизационные отчисления считаются линейным способом (равны 2,5% соответственно). Прочие затраты принимаются 10%, затраты на капитальный ремонт 2,5% [12]. Ставка дисконтирования определяется по формуле Фишера [13] и принимается равной 13%. Результаты технико-экономического расчета за период 10 лет приведены в таблице 1, где  $K$  – капиталовложения в проект,  $K_{ликв10}$  –

---

ликвидационная стоимость на 10-ый год,  $NPV$  – чистый дисконтированный доход за 10 лет,  $PI$  – индекс рентабельности проекта (отношение  $NPV$  к капиталовложениям).

Таблица 1. Показатели технико-экономической оценки обоих вариантов

Проект	$K$ , млн. руб.	Затраты, млн. руб./год	Выручка, млн. руб./год	$K_{ликв10}$ , млн. руб.	$NPV$ , млн. руб.	$PI$
МГЭС	21,5	1,2	4,7	10,8	3,4	1,16

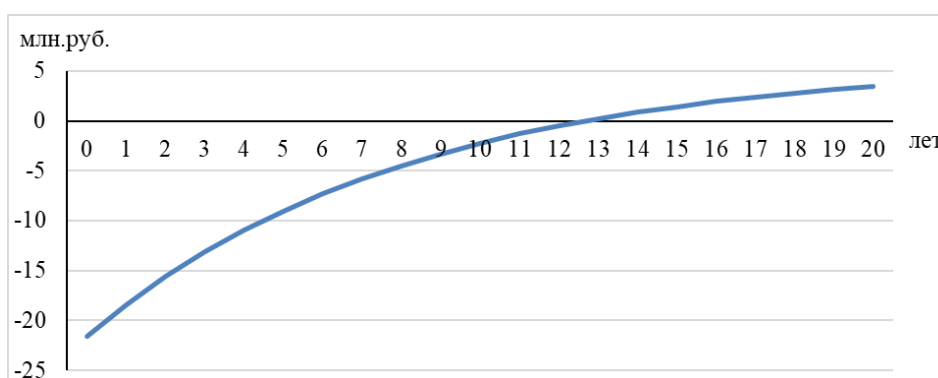


Рисунок 2. Окупаемость проекта

При учете ставки дисконтирования проект окупается за расчетный период. Стоимость компании инвестора на 20-й год равна – 3,4 млн. руб. Окупаемость проекта с учетом ставки дисконтирования равна 12,7 лет. Индекс рентабельности ( $PI$ ) больше единицы. Следует также отметить меры поддержки со стороны государства при реализации ВИЭ. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р, с 2009 года в России действует мера поддержки ВИЭ. В рамках данной программы предусмотрен конкурентный отбор, по итогам которого инвестор получает право на гарантированный возврат вложений при строительстве малой гидроэлектростанции (мощностью до 25 МВт). При прохождении конкурсного отбора инвестиционная привлекательность проекта увеличится.

Исходя из технико-экономического анализа, переоборудование неиспользуемой плотины является целесообразным решением в рамках

интеграции ВИЭ в мегаполисах относительно других рассмотренных вариантов. Следует отметить, что это является точечным подходом, который реализуется при наличии исторических и неиспользуемых плотин в городе. Остальные варианты интеграции ВИЭ в мегаполисах на текущий момент сталкиваются с рядом препятствий для их повсеместного применения.

### **Заключение**

В работе рассмотрены возможности и препятствия интеграции ВИЭ в крупных городах и мегаполисах. Проведен анализ актуальных технологий генерации на основе ВИЭ относительно их применимости в условиях мегаполиса. По результатам анализа было выявлено, что в частных случаях переоборудование неиспользуемых исторических плотин в МГЭС в мегаполисах является эффективным решением в качестве интеграции ВИЭ в крупных городах. Это позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду и максимально эффективно использовать доступные ресурсы. По результатам технико-экономического анализа данный проект является рентабельным.

### **Литература**

1. Семёнов, А. С., Шипулин, В. С., Рушкин, Е. И., Саввинов, П. В., Еремеева, Р. Е. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Республике Саха (Якутия) //Альтернативная энергетика и экология. №. 3 (121), 2013, С. 138-142.
2. Белан С.И., Бадавов Г.Б., Гусейнов Н.М. Оценка современного состояния и потенциала использования возобновляемых источников энергии в России // ГИАБ. №3-1, 2021, С. 284-298
3. Жидков А. А. Развитие принципов применения распределенной малой генерации на свалочном газе: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 2.6.3: дис. – б. и., 2022. – 210 с.





4. Gagnon, L. Civilisation and energy payback. *Energy Policy*, 36(9), 2008, p. 3317–3322.
5. Railway Handbook 2012 Energy Consumption and CO2 Emissions // International Energy Agency, 2012, p. 59, URL: [uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic\\_2012final-lr.pdf](http://uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic_2012final-lr.pdf)
6. Hatata, A.Y., El-Saadawi, M.M., Saad, S. A feasibility study of small hydro power for selected 517 locations in Egypt. *Energy Strategy Rev.*, 24, 2019, p. 300-313. URL: [doi.org/10.1016/j.esr.2019.04.013](https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.04.013)
7. Обследование современного технического состояния гидроузла на р. Яуза. Технический отчёт АООТ Гипроречтранс, М., 1994 – 96 с.
8. Рагулина И. В. Гидрологическое обоснование режима обводнения реки Москвы: дис. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Москва, 2018. – 153 с.
9. Февралев А. В. Проектирование гидроэлектростанций на малых реках. – 2014. – 181 с.
10. Eurelectric, Flexible Generation: Backing up Renewables Union of the Electricity Industry EURELECTRIC, Brussels Depot Legal: D/2011/12.105/47, 2011. – 87 p.
11. Олешко В. А. Методика предпроектного обоснования выбора створов и параметров малых гидроэлектростанций с использованием геоинформационных технологий: дис. – Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники им. БЕ Веденеева, 2016. – 174 с.
12. Роголёв Н.Д., Зубкова А.Г., Мастерова И.В., Курдюкова Т.Н., Бологова В.В., Пономарёва О.Ю., Шувалова Д.Г., Синицина Е.Я., Кетоева Н.Л. Экономика энергетики: учебник для ВУЗов: Издательский дом МЭИ, 2011. - 320 с.

13. Бабоян, Е. С. Основные подходы к определению ставки дисконтирования // Вестник современных исследований. № 11.6(26). – 2018, С. 118-122. – EDN YRWOFV.

### References

1. Semyonov, A. S., SHipulin, V. S., Rushkin, E. I., Savvinov, P. V., Eremeeva, R. E Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2013. №. 3 (121). pp. 138-142.
2. Belan S.I., Badavov G.B., Gusejnov N.M. GIAB. №3-1, 2021, pp. 284-298.
3. ZHidkov A. A. Razvitie principov primeneniya raspredelennoj maloj generacii na svalochnom gaze: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Development of principles of application of distributed small-scale generation on landfill gas: thesis for the degree of candidate of technical sciences]: 2.6.3: dis. b. i., 2022. p. 210.
4. Gagnon, L. Civilisation and energy payback. Energy Policy, 36(9), 2008, pp. 3317–3322.
5. Railway Handbook 2012 Energy Consumption and CO2 Emissions International Energy Agency, 2012, p. 59. URL: [uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic\\_2012final-lr.pdf](http://uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic_2012final-lr.pdf)
6. Hatata, A.Y., El-Saadawi, M.M., Saad, S., A feasibility study of small hydro power for selected 517 locations in Egypt. Energy Strategy Rev., 24, 2019, p. 300-313. URL: [doi.org/10.1016/j.esr.2019.04.013](https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.04.013)
7. Obsledovanie sovremennogo tekhnicheskogo sostoyaniya gidrouzla na r. YAuzza. Tekhnicheskij otchyot AOOT Giprechtrans, [Survey of the current technical condition of the hydrosystem on the Yauza River. Technical report of Giprechtrans]. M., 1994 p. 96.
8. Ragulina I. V. Hidrologicheskoe obosnovanie rezhima obvodneniya reki Moskvy. [Hydrological substantiation of the Moscow river flooding



- regime]. Dis. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk Moskva, 2018. p. 153.
9. Fevralev A. V. Proektirovanie gidroelektrostantsij na malyh rekah [Design of hydropower plants on small rivers]. 2014. p. 181.
  10. Eurelectric, Flexible Generation: Backing up Renewables Union of the Electricity Industry EURELECTRIC, Brussels Depot Legal: D/2011/12.105/47, 2011. p. 87.
  11. Oleshko V. A. Metodika predproektnogo obosnovaniya vybora stvorov i parametrov malyh gidroelektrostantsij s ispol'zovaniem geoinformacionnyh tekhnologij. [Methodology of pre-project substantiation of selection of sites and parameters of small hydroelectric power plants using geoinformation technologies]. Dis. Vseros. nauch.-issled. in-t gidrotekhniki im. BE Vedeneeva, 2016. p. 174.
  12. Rogalyov N.D., Zubkova A.G., Masterova I.V., Kurdyukova T.N., Bologova V.V., Ponomaryova O.YU., SHuvalova D.G., Sinicina E.YA., Ketoeva N.L. Ekonomika energetiki. [Energy Economics], uchebnik dlya VUZov: Izdatel'skij dom MEI, 2011. p. 320.
  13. Baboyan, E. S. Vestnik sovremennyh issledovanij. № 11.6(26). 2018, pp. 118-122.