

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В АВТОНОМНОЙ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Лукутин Б. В.¹, Сарсикеев Е. Ж.², Шандарова Е. Б.¹

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск;*

² *Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Казахстан, г. Астана; e-mail: sarsikev.ermek@yandex.ru*

Автономная и малая энергетика в настоящее время характеризуется количественным и качественным развитием ввиду очевидных преимуществ в условиях современной электроэнергетики. Авторами рассмотрено технико-экономическое обоснование вариантов электроснабжения автономных потребителей на базе микрогидроэлектростанции, в структуре которой предполагается накопитель электрической энергии. При этом в качестве базового элемента сравнения принята дизельная электростанция. Для анализа технико-экономической эффективности произведена классификация энергооборудования согласно мощности и цены, проведены расчеты по каждому возможному варианту структуры и определены технико-экономические показатели. Критериями эффективности приняты коэффициент загрузки энергооборудования, сумма инвестиций и ежегодных издержек, себестоимость производства электрической энергии, срок окупаемости проекта. В заключении обоснованы схема построения микроГЭС, диапазон мощностей для характерных графиков электрической нагрузки.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанции, эффективность, накопитель электрической энергии, себестоимость

EVALUATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ELECTRIC ENERGY STORAGE DEVICE IN STAND-ALONE MICRO HYDRO POWER PLANT

Lukutin B. V.¹, Sarsikev Y. Z.², Shandarova E. B.¹

¹ *National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk;*

² *S.Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Kazakhstan, Astana; e-mail: sarsikev.ermek@yandex.ru*

Autonomous and small power at the present time is characterized by quantitative and qualitative development because of the obvious advantages in conditions of modern power systems. The authors examined the feasibility study of options of autonomous electricity consumers on the basis of micro hydro power plant, which is expected in the structure of the drive electric power. At the same time as a basic element of comparison adopted by diesel power. For the analysis of technical and economic efficiency made the classification of power according to the power and price, the calculations are carried out for each possible variant of the structure and defined technical and economic indicators. Performance criteria adopted by the load factor of power, the amount of investment and annual costs, the production cost of electricity, the payback period of the project. In conclusion, it justifies the outline of micro hydro power plant, the power range for typical schedules of electric loads.

Keywords: micro hydro power plant, efficiency, electrical energy storage device, cost.

В России по существующей классификации к классу микрогидроэлектростанций (микроГЭС) причисляют гидравлические электростанции с установленной мощностью до 100 кВт. МикроГЭС в отличие от крупных гидроэлектростанций имеют ряд отличительных особенностей:

- не требуют больших капитальных вложений на сооружение;
- минимально воздействуют на окружающую среду;
- не влекут за собой изменений в природных условиях затрагиваемой территории и объектах народного хозяйства;

- не требуют затопления больших территорий;
- не требуют высококвалифицированного обслуживающего персонала.

В большинстве случаев, для микроГЭС применяется деривационная схема, при этом часть потока воды из реки отводится в напорный трубопровод и после его использования в гидротурбине сбрасывается в реку, что значительно сокращает сроки и капитальные затраты на сооружение электростанции, обеспечивая минимум негативного воздействия на окружающую среду.

Схемы построения и способы стабилизации выходных параметров современных микроГЭС отражены в литературе [1,7], где рассмотрены вопросы улучшения качества генерируемой электрической энергии в энергоустановках балластного и инверторного типов.

Вопросы оптимизации структуры и параметров объектов малой энергетики с участием возобновляемых источников актуальны и требуют детальных исследований [4].

Целью настоящей работы является оценка экономической эффективности инверторной микроГЭС с накопителем электроэнергии в ее составе по сравнению с микроГЭС автобалластного типа и дизельной электростанцией.

Оценка эффективности проектов электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии является сложным и многофакторным процессом, требующим учета энергетического потенциала природного ресурса в рассматриваемом месте размещения, графиков электрических нагрузок автономных потребителей [2], экономических условий для реализации проекта электроснабжения.

Капитальные затраты на микроГЭС напрямую связаны с ее мощностью. Однако стоимость 1 кВт установленной мощности электроустановки с увеличением полной мощности станции, как правило, уменьшается. В связи с этим, в расчетах целесообразнее выделять диапазоны мощностей микроГЭС с разной удельной стоимостью 1 кВт установленной мощности (цены указаны за 2013 год [3]), например:

- $P_{\text{ном}} < 10 \text{ кВт}$, $K_{\text{уст.уд}} = 25000 \text{ руб/кВт}$;
- $10 \text{ кВт} < P_{\text{ном}} < 50 \text{ кВт}$, $K_{\text{уст.уд}} = 20000 \text{ руб/кВт}$;
- $50 \text{ кВт} < P_{\text{ном}} < 100 \text{ кВт}$, $K_{\text{уст.уд}} = 15000 \text{ руб/кВт}$.

Исходными данными для определения удельной стоимости 1 кВт установленной мощности микроГЭС является стоимость продукции ведущих российских фирм разработчиков и производителей оборудования для малой гидроэнергетики. Продукция зарубежных фирм имеет стоимость в 1,5–2,5 раза выше отечественных аналогов.

Существенной особенностью микроГЭС являются значительные различия в конструктивном построении станций на малые, до 2 м, и большие напоры. Ввиду больших возможностей для реализации в работе рассматриваются низконапорные микроГЭС с

быстроходными пропеллерными турбинами, выпускаемые отечественными производителями на напоры от 2 м и выше.

Полная стоимость комплектного гидросилового оборудования, с учетом установленной мощности и ее удельной стоимости, определяется по формуле:

$$K_{\text{уст}} = K_{\text{уст.уд.}} \cdot P_{\text{ном.}}$$

Стоимость проектных работ по определению места установки станции на местности практически не связана с ее мощностью и может приниматься постоянной, зависящей только от минимального размера оплаты труда (МРОТ):

$$K_{\text{пр}} = 50 \cdot \text{МРОТ},$$

где МРОТ = 5965 руб., согласно [6].

Стоимость строительных и монтажных работ по установке станции на местности ($K_{\text{стр}}$) определяется в зависимости от полной установленной мощности микроГЭС и среднего уклона реки (ΔH). Для этого в расчетах применяются следующие коэффициенты:

K_p – коэффициент затрат на установку станции (о.е.), в расчетах принимается постоянным, равным 0,05;

K_n – коэффициент, учитывающий изменение затрат на установку станции в зависимости от среднего уклона русла реки (о.е.), в первом приближении может быть принят: при $\Delta H < 1,0$ м/км, $K_n = 0,5$; при $\Delta H = 1,0 - 4,0$ м/км, $K_n = 1,0$; при $\Delta H = 4,0 - 10,0$ м/км, $K_n = 0,8$; при $\Delta H > 10,0$ м/км, $K_n = 0,4$.

Значительный разброс в значениях коэффициента, учитывающего стоимость строительных работ в зависимости от среднего уклона русла реки объясняется пропорциональным уменьшением длины и диаметра напорного трубопровода и, соответственно, затрат на его монтаж с увеличением напора. В данной работе средний уклон реки ΔH принят равным 4,0 – 10,0 м/км, $K_n = 0,8$.

После определения поправочных коэффициентов, стоимость строительных и монтажных работ по установке станции определяется из выражения:

$$K_{\text{стр}} = K_p \cdot K_n \cdot K_{\text{уст.}}$$

Суммарные капитальные затраты составляют:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{уст.}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{стр.}}$$

Так как современные конструкции микроГЭС обеспечивают полностью автоматизированный режим работы, то годовые расходы на эксплуатацию станции сводятся к периодической ревизии и чистке водозаборного устройства и смазке механических вращающихся частей установки. При этом величина расходов на обслуживание станции практически не зависит от её мощности и конструктивного исполнения. В связи с этим, в

расчетах величина расходов на обслуживание микроГЭС принимается постоянной, зависящей от минимального размера оплаты труда (МРОТ):

$$C_{\text{обсл}} = 36 \cdot \text{МРОТ}.$$

Величина затрат на ремонт определяется в зависимости от стоимости комплектной установки и стоимости строительных и монтажных работ по установке станции:

$$C_{\text{рем}} = K_{\text{рем}} \cdot (K_{\text{уст}} + K_{\text{стр}}),$$

где $K_{\text{рем}}$ – коэффициент затрат на ремонт (о.е.), принимаемый в расчетах равным 0,2.

Суммарные эксплуатационные затраты составляют:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{обсл}} + C_{\text{рем}}.$$

Установленная мощность станции должна обеспечивать выработку энергии, необходимой в течение суток. С целью оптимизации энергетического баланса автономной системы электроснабжения предполагается использовать свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, для запасания энергии в часы минимума потребляемой мощности и её расходования в остальные часы суток [5].

В качестве аккумуляторных батарей выбираются аккумуляторы с емкостью 200 А·ч, напряжением 12 В. Допустимая глубина разряда аккумуляторной батареи составляет 40 процентов.

Количество запасенной энергии у заряженного аккумулятора определяется:

$$W_{\text{АБ}}^{\text{макс}} = C_{\text{АБ}} \cdot U_{\text{АБ}},$$

где $U_{\text{АБ}}$ – напряжение аккумуляторной батареи.

Для управления потоками электрической энергии в автономной системе электроснабжения между микроГЭС, накопителем энергии и потребителем необходимо наличие силовых преобразователей. Стоимость и технические характеристики многофункциональных автоматических преобразователей напряжения известны и представлены на сайте производителя.

Результаты исследования. В качестве примера рассмотрены автономные потребители, мощностью от 5 до 95 кВт, с шагом дискретизации 10 кВт, с характерными графиками электрических нагрузок на летний и зимний сезоны. В данной работе для каждой установленной мощности потребителя определяются рациональный состав и мощность оборудования микроГЭС, а именно – варианты электроснабжения: первый – только от микроГЭС, второй – от микроГЭС с накопителем электрической энергии, третий – для сопоставимости сравнения только от дизельной электростанции.

Расчет технико-экономических показателей системы электроснабжения с учетом используемого оборудования, его количества и стоимости производится с помощью

автоматического программного комплекса HOMER. Пример результатов расчета приведен на рисунке 1.

Hydro Capital (\$)	Hydro O&M (\$/yr)	Design Flow Rate (L/s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hydro (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
402250	235540	136.05	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.00	2	6	\$ 510,925	243,373	\$ 2,302,173	27.885	1.00	0.01
506250	256340	340.14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.01		6	\$ 568,550	256,340	\$ 2,455,235	29.481	1.00	0.00
610250	277140	510.20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.02		6	\$ 672,550	277,140	\$ 2,712,325	32.568	1.00	0.00
922250	339540	1020.41	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30.03		6	\$ 984,550	339,540	\$ 3,483,594	41.829	1.00	0.00
1078250	370740	1700.68	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50.05		6	\$ 1,140,550	370,740	\$ 3,869,229	46.460	1.00	0.00
1858250	526740	3401.36	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100....		6	\$ 1,920,550	526,740	\$ 5,797,403	69.612	1.00	0.00

Рис. 1. Обобщенные технико-экономические показатели для мощности 5 кВт

По предлагаемой методике на рисунке 2 приведены зависимости суммарных затрат проектов электрификации, включающие приобретение и последующую эксплуатацию в течение 10 лет на основное оборудование для автономных потребителей установленной мощностью от 5 до 95 кВт.

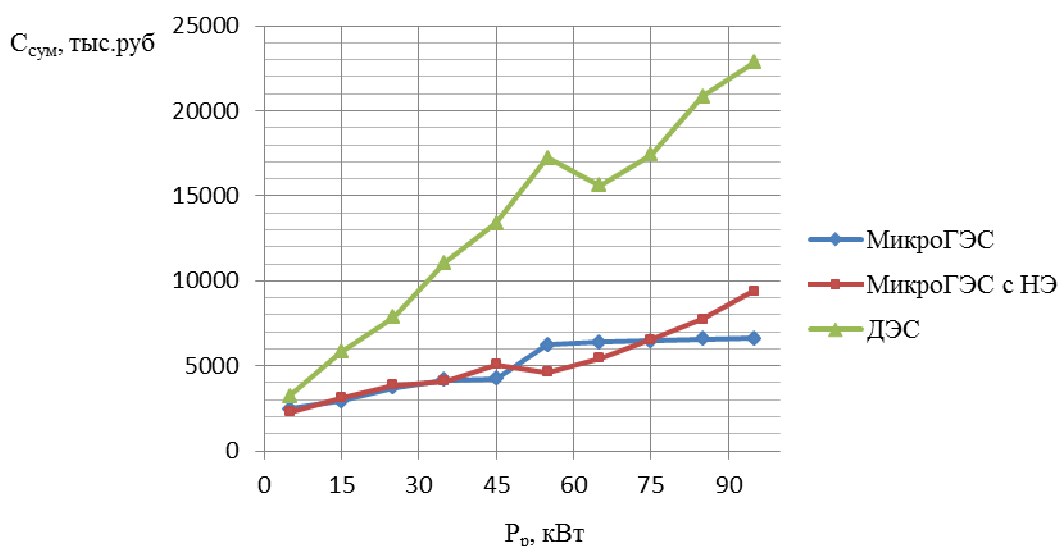


Рис. 2. Ценовые показатели различных вариантов

Одним из важных показателей при финансовой оценке проектов электроснабжения является себестоимость производства электрической энергии, особенно это актуально для автономных потребителей, для которых себестоимость генерируемой электроэнергии часто значительно превышает аналогичный показатель для централизованного электроснабжения. На рисунке 3 приведена себестоимость генерируемой электроэнергии для различных вариантов построения энергоустановок и их мощности.

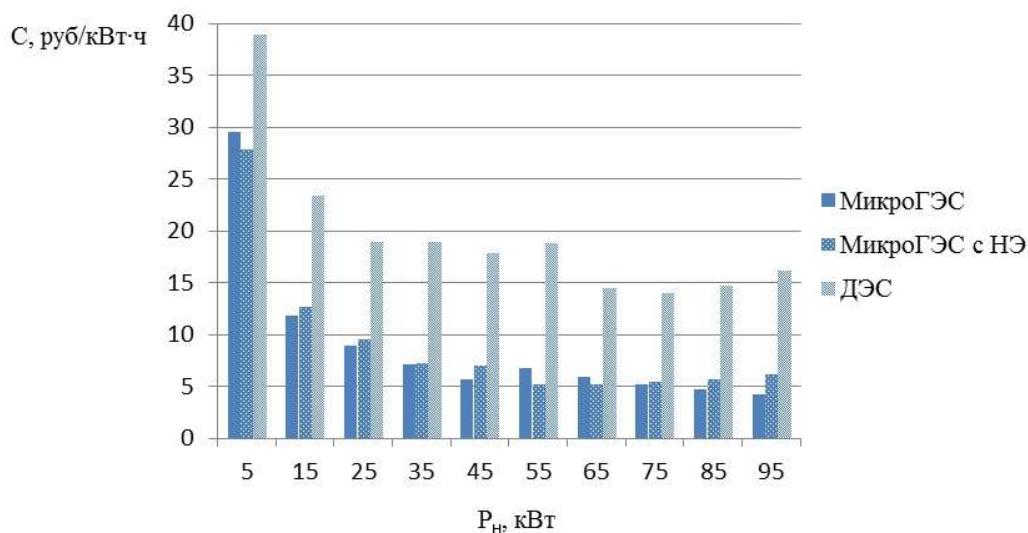


Рис. 3. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии

Стоимость производства электроэнергии с помощью ДЭС в среднем в 2,5 раза выше стоимости электроэнергии произведенной микроГЭС. В тоже время эксплуатация ДЭС сопряжена с необходимостью доставки дизельного топлива и его сезонного хранения.

Можно сделать вывод о том, что применение инверторной микроГЭС с накопителем электроэнергии повышает технико-экономические характеристики гидроэлектростанции за счет возможности уменьшения энергетического потенциала рабочего потока воды.

В рамках сделанных допущений снижение затрат на гидротехническое оборудование компенсируется добавленной стоимостью статических преобразователей и накопителей электроэнергии. Поэтому экономические показатели рассматриваемых вариантов микроГЭС примерно одинаковы.

Таким образом, предложенная система оценки эффективности проектов электроснабжения на базе микроГЭС с накопителем электроэнергии позволяет оценить эффективность вариантов построения микроГЭС и выбрать наиболее рациональный.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №14-08-90106 на тему «Исследование и разработка систем управления микрогидроэлектростанции для электроснабжения автономных потребителей».

Список литературы

1. Лукутин Б. В., Сарсикеев Е. Ж., Шандарова Е. Б. МикроГЭС со статическим преобразователем частоты // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16116 (дата обращения: 06.10.2015).

2. Лукутин Б. В., Сарсикеев Е. Ж., Тентиев Р. Б. Моделирование электрической нагрузки мкрогидроэлектростанции для электроснабжения автономных потребителей // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: материалы 5-й научно-практической internet-конференции (Ульяновск, 2015г.). – Ульяновск, 2015. – С. 178-181.
3. Межотраслевое научно-техническое объединение ИНСЭТ, URL: <http://www.inset.ru> (дата обращения 14.10.15).
4. Сурков М. А., Лукутин Б. В., Сарсикеев Е. Ж., Киушкина В. Р. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Науковедение. – 2012. – №. 4 – С. 1.
5. Обухов С. Г., Плотников И. А., Сарсикеев Е. Ж. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 9. – С. 137-141.
6. Федеральный закон от 01.12.2014 N 408-ФЗ «О внесении изменения в статью 1 Федерального закона «О минимальном размере оплаты труда» // Консультант Плюс, URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171575 (дата обращения 14.10.15).
7. Шандарова Е. Б. Система стабилизации выходного напряжения микроГЭС с дискретным несимметричным балластом. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: www.science-education.ru/121-17501 (дата обращения: 14.10.2015).

Рецензенты:

Муравлев О. П., д.т.н., профессор, профессор кафедры электромеханических комплексов и материалов Томского политехнического университета, г. Томск;

Кабышев А. В., д.ф.-м.н., старший научный сотрудник, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Томского политехнического университета, г. Томск.