

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.064.5:63

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-52-56



## Технико-экономическая сравнительная оценка локальной системы электроснабжения крупнотоварного агропромышленного предприятия

*Владимир Тимофеевич Водяников, д-р экон. наук, профессор*

vvt-5210@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Энергообеспеченность предприятий агропромышленного комплекса зависит от качественного электроснабжения. Применение локальных источников электроснабжения для крупнотоварных предприятий и их объединений позволяет устранить недостатки централизованного снабжения. Даны обоснования перехода от централизованного электроснабжения к локальным источникам электроэнергии для сельских потребителей. Разработан и предложен критерий оценки вариантов энергоснабжения объектов АПК, представляющий собой интегральный показатель, включающий в себя капиталовложения в источник энергии и текущие затраты на его эксплуатацию. С помощью критерия и условий энергетической сопоставимости сравниваемых вариантов можно обосновать наиболее предпочтительную инженерно-техническую систему обеспечения объектов АПК энергией. На примере подразделений агрохолдинга «АгроПромкомплектация» обоснованы и подтверждены расчётами актуальность, целесообразность и результативность применения локального источника энергообеспечения (мини-ТЭЦ) – автономного энергокомплекса 3 МВт на базе инновационной газопоршневой установки ГПУ «Jenbacher». Фактические значения тарифа на электроэнергию от энергосистемы составили 6,41 руб/кВт·ч, себестоимость производства электроэнергии на базе инновационной газопоршневой установки – 3,34 руб/кВт·ч.

**Ключевые слова:** АПК, энергоснабжение, технико-экономическая сравнительная оценка, мини-ТЭЦ, АгроПромкомплектация

**Формат цитирования:** Водяников В.Т. Технико-экономическая сравнительная оценка локальной системы электроснабжения крупнотоварного агропромышленного предприятия // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 52-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-52-56>

© Водяников В.Т., 2023

ORIGINAL ARTICLE

## Technical and economic comparative assessment of the local power supply system of a large commercial agricultural enterprise

*Vladimir T. Vodyannikov, DSc (Eng), Professor*

vvt-5210@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

**Abstract.** The power supply of agro-industrial enterprises depends on qualitative power supply. The application of local sources of power supply for the large commercial enterprises and their associations makes it possible to eliminate the disadvantages of centralized power supply. The article justifies the transition from centralized power supply to local power sources for rural consumers. The authors developed a criterion to estimate power supply options for agro-industrial objects. The criterion is an integral index including capital investments in power source and current costs of its operation. Using the criterion and taking into account the conditions of energy comparability of the compared variants, we can determine the most preferable engineering power supply system of agro-industrial objects. Using the example of “AgroPromkomplektatsiya” holding divisions, the author analytically proved the relevance, expediency, and effectiveness of using the local source of energy supply (mini-CHP) – an autonomous 3 MW energy complex based on the innovative gas piston unit GPU “Jenbacher”. The actual common grid electricity tariff was 6.41 rubles/kWh, while the cost of electricity based on the innovative gas piston unit amounted to 3.34 rubles/kWh.

**Keywords:** agro-industrial sector, power supply, technical-economic comparative estimation, mini-CHP, AgroPromkomplektatsiya.

**For citation:** Vodyannikov V.T. Technical and economic comparative assessment of the local power supply system of a large commercial agricultural enterprise. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(2):52-56. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-52-56>

**Введение.** Уровень развития электроэнергетики в стране во многом определяет безопасность государства и отражается на международных отношениях. Многие исследования свидетельствуют о том, что увеличение производства аграрной продукции на 1% обеспечивается ростом потребления энергоресурсов на 2...3%. Увеличение объемов производства продуктов питания напрямую связано с энергообеспечением отрасли, и этот фактор оказывает определяющее влияние на развитие АПК. Энергоемкость агропромышленного производства – основополагающий фактор конкурентоспособности отечественного производства продуктов питания. В Российской Федерации энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции в 4...5 раз выше, чем в развитых странах<sup>1</sup> [1, 2]. В связи с ростом цен и тарифов на топливно-энергетические ресурсы удельный вес затрат на энергоресурсы в себестоимости аграрной продукции вырос с 3...5 до 30...40% [3].

Энергоснабжение объектов АПК сопряжено с рядом проблем:

- низкой экономической эффективностью системы сельского электроснабжения ввиду выработавшегося ресурса (сотни тысяч километров полностью изношенных воздушных линий электропередачи 0,4-10 кВ и трансформаторных подстанций приводят к росту потерь электроэнергии, которые оплачивает потребитель) [1, 2];

- ростом аварийности сетей 0,4-10 кВ, обусловленной их низкой надежностью (до 15...20 отключений на 100 км трассы электролиний, годовая продолжительность перерывов электроснабжения – 250 ч [1]);

- несовершенством системы тарифов на электроэнергию (для аграрного сектора стоимость электроэнергии для сельхозпроизводителей выше, чем для промышленных отраслей, в 1,5...2,0 раза [4]);

- отсутствием целевой программы по передаче эксплуатирующим организациям и восстановлению бесхозных сельских электрических сетей [2];

- необходимостью вывода из эксплуатации либо реконструкции 70% воздушных линий электропередачи 0,4 кВ и около 60% – напряжением 6-10 кВ, имеющих 100%-ный износ (отклонение напряжения достигает 10...20%, что выше норматива  $\pm 10\%$ , установленного ГОСТом 32144-2013, потери электроэнергии в сельских электросетях – 30...35% при нормативе 5...7% [1, 2]);

- низким уровнем реализации нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, недостаточностью перспективных технологий, инженерно-технических

систем для использования биоэнергетического потенциала растениеводства и животноводства (уровень использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергобалансе села не превышает 2,0...2,5%, что на порядок меньше, чем в ряде других стран) [2, 4];

- дефицитом наличия специалистов: электриков и энергетиков (уровень обеспеченности последними составляет в лучшем случае 50% [2]).

В системе централизованного электроснабжения крупных агропромышленных производств, применяющих инновационные технологии и технику, оснащенную средствами цифровизации производства, реализуются варианты обеспечения надежного энергоснабжения путем установки и эксплуатации резервного электропитания или за счет основного локального источника энергии. Необходимо установить, при каких условиях экономически выгоден вариант централизованного или локального (децентрализованного) электроснабжения.

**Цель исследований:** предложить методический подход технико-экономической оценки локальной системы энергоснабжения крупнотоварного агропромышленного предприятия.

**Материалы и методы.** Методика оценки локальных систем энергоснабжения базируется на исследованиях современного состояния сельских электрических сетей 0,4-10 кВ, условий электроснабжения сельского хозяйства, на результатах анализа альтернативных источников электроэнергии.

Удельные (в расчете на 1 кВт мощности) капиталовложения и себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии зависят от типа локального энергоисточника, его мощности, топливной составляющей в затратах на выработку электроэнергии, а также от уровня надежности электроснабжения<sup>2</sup> [2]. Определение экономически обоснованной величины тарифа на электроэнергию, получаемую от энергосистемы, с учётом необходимых капиталовложений на реконструкцию (восстановление) централизованной системы электроснабжения сельскохозяйственных объектов, позволяет выявить экономии (перерасход) от применения локальной системы энергоснабжения [3].

Расчетная (фактическая) экономическая эффективность капиталовложений ( $E_{\phi}$ ) в инфраструктуру

<sup>1</sup> Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. 196 с.

<sup>2</sup> Водяников В.Т. Экономика реализации биоэнергетического потенциала отходов аграрного производства: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Лань, 2018. 128 с.

локальной системы электроснабжения определяются по формуле:

$$E_{\phi} = (t_3 \cdot W_3 - I_{лв}) / (K_{л} - K_{р}), \quad (1)$$

где  $t_3$  – тариф на электроэнергию от энергосистемы, руб/кВт·ч;  $W_3$  – объем потребляемой электроэнергии, кВт·ч;  $I_{лв}$  – издержки на производство электроэнергии в локальной системе электроснабжения, руб.;  $K_{л}$  – капиталовложения в локальную систему электроснабжения, руб.;  $K_{р}$  – капиталовложения в реконструкцию централизованной системы электроснабжения, руб.

При условии  $t_3 \cdot W_3 > I_{лв}$  при  $K_{л} < K_{р}$  следует отдать предпочтение локальному источнику электроснабжения, а при  $t_3 \cdot W_3 < I_{лв}$  эффективна централизованная система электроснабжения, то есть от энергосистемы.

Установив  $E_{н} = E_{\phi}$  и преобразовав вышеуказанное условие, получим

$$E_{н}(K_{л} - K_{р}) = t_3 \cdot Q_3 - I_{лв}, \text{ или } I_{лв} + E_{н} \cdot (K_{л} - K_{р}) / W_3 = t_3, \quad (2)$$

где  $E_{н}$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

При известном тарифе на электроэнергию от энергосистемы и себестоимости производства электроэнергии от локального источника условие обоснования выбора варианта электроснабжения сводится к расчету по формуле:

$$E_{\phi} = (t_3 - s_{эл}) / (K_{ул} - K_{ур}) > E_{н}, \quad (3)$$

где  $s_{эл}$  – себестоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии в локальной системе, руб/кВт·ч;  $K_{ул}$  и  $K_{ур}$  – удельные капиталовложения в локальную систему и реконструкцию централизованной системы электроснабжения, руб/кВт·ч.

Предельная величина себестоимости производства 1 кВт·ч электроэнергии в локальной системе энергоснабжения при заданном тарифе ( $t_3$ ) должна отвечать условию:

$$s_{эл} < t_3 - E_{н} \cdot (K_{ул} - K_{ур}). \quad (4)$$

С целью соблюдения экономической сопоставимости вариантов систем энергоснабжения целесообразно придерживаться следующих условий<sup>2</sup>:

- предусмотреть использование современных инженерно-технических систем, расчеты целесообразно выполнять при оптимальных режимах их работы;

- анализируемые варианты систем электроснабжения должны обладать одинаковыми параметрами надежности и показателями качества энергоснабжения;

- сравниваемые варианты должны в одинаковой степени отвечать требованиям экологичности и безопасности труда;

- сравнительная оценка должна производиться в одинаково актуальных ценах на энергоресурсы, технические средства, другие материально-технические ресурсы, а также при наличии единой нормативной базы.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования экономической целесообразности реализации локальных систем электроснабжения взамен стандартной централизованной энергосистемы выполнены на примере агрохолдинга «АгроПромкомплектация», основанного

на принципах производственной кооперации с замкнутым циклом производства мясной и молочной продукции «От поля до прилавка». На примере энергообеспечения этого предприятия рассмотрим эффективность применения локальной системы энергоснабжения – автономного энергокомплекса по производству электрической и тепловой энергии для собственных нужд мощностью 3 МВт, введенного в эксплуатацию в 2012 г. на базе инновационной газопоршневой установки ГПУ «Jenbacher».

Энергокомплекс – это минитеплоэлектроцентраль (мини-ТЭЦ), где в процессе когенерации одновременно вырабатывается электрическая и тепловая энергия. При сжигании природного газа в газопоршневом двигателе ГПУ «Jenbacher» вырабатывается механическая энергия, преобразуясь посредством электрогенератора в электрическую энергию, которая поступает по местной линии электропередачи к потребителям. Утилизация тепловой энергии происходит через теплообменники.

Мини-ТЭЦ может работать по отношению к системе внешнего энергоснабжения в двух режимах:

- Автономно – энергоснабжение осуществляется от энергокомплекса (внешние сети отсутствуют или отключаются и работают как резервные).

- Параллельно – режим работы мини-ТЭЦ параллельно с внешней сетью и энергоснабжение в этом случае происходит от двух источников одновременно.

Мини-ТЭЦ в основном вырабатывает электрическую и тепловую энергию для высокотехнологичного и вертикально интегрированного предприятия Тверской области Дмитрогорского мясоперерабатывающего завода агрохолдинга «АгроПромкомплектация».

За период 2019-2021 гг. завод увеличил физический объем производства мясной продукции на 5,4%, снизил электроемкость производства на 11,2%. Одновременно, по причине роста цены на природный газ, почти на 20% возросли расходы на электрическую и тепловую энергию (с 63 до 74,7 млн руб.), а их удельный вес в стоимости товарной продукции увеличился на 1,5% (табл. 1).

Анализируя структуру затрат по мини-ТЭЦ, следует отметить, что общий объем капиталовложений на его сооружение составил около 180 млн руб. включая 61 млн руб. на оборудование и коммуникации. В издержках производства электрической и тепловой энергии наибольший удельный вес приходится на природный газ (на электроэнергию – 53,6%, тепловую энергию – 48,0%) (табл. 2). В 2021 г. себестоимость производства 1 кВт·ч составила 3,34 руб/кВт·ч, что по сравнению с тарифом на электроэнергию от энергосистемы (6,41 руб/кВт·ч) ниже почти в 2 раза. Себестоимость тепловой энергии составила 1682,8 руб/Гкал, что ниже установленного тарифа (2304,8 руб/Гкал) почти на 30%.

Экономическая целесообразность применения локального источника энергоснабжения мини-ТЭЦ на базе газопоршневой установки ГПУ «Jenbacher» подтверждается показателями, рассчитанными по формулам 3 и 4 (табл. 3).

Таблица 1

Объем производства мясной продукции и энергопотребления Дмитрогорским мясоперерабатывающим заводом

Table 1

Production volume of meat products and energy consumption of the Dmitrova Gora meat-processing plant

Показатели <i>Indicators</i>	Год			2021 г. к 2019 г, %
	2019	2020	2021	
Годовой объем производства, т / <i>Annual production volume, tons</i>	17017	17882	17932	105,4
Объем реализации мясной продукции, млн руб. <i>Sales volume of meat products, million rub.</i>	3526,8	3803,6	3872,1	109,8
Общий объем потребления электроэнергии, всего, тыс. кВт·ч <i>Total electricity consumption, thousand kWh</i>	12304	12051	11992	97,5
в том числе собственного производства, тыс. кВт·ч <i>including own production, thousand kWh</i>	10425	10869	10960	105,1
Электроёмкость товарной продукции, кВт·ч/тыс. руб. <i>Power intensity of marketable output, kWh/ thousand rub.</i>	3,49	3,17	3,10	88,8
Затраты на электрическую и тепловую энергию, тыс. руб. <i>Electric power and heat costs, thousand rub.</i>	63029,0	66151,8	74723,1	118,6

Таблица 2

Структура затрат на производство электрической и тепловой энергии мини-ТЭЦ

Table 2

Structure of costs of production of electric and thermal energy by mini-CHP% to total

Статьи затрат <i>Expenditure items</i>	Электроэнергия / <i>Electricity</i>		Тепловая энергия / <i>Heat energy</i>	
	тыс. руб. <i>thousand rub.</i>	% к итогу <i>% to total</i>	тыс. руб. <i>thousand rub.</i>	% к итогу <i>% to total</i>
Заработная плата с начислениями <i>Wages and salaries, including charges</i>	6929,2	11,0	3708,3	9,8
Затраты на природный газ <i>Expenses for natural gas</i>	34024,6	53,6	18112,8	48,0
Расходы на ремонт и техническое обслуживание <i>Repairs and maintenance costs</i>	8904,6	14,1	4725,1	12,5
Амортизация / <i>Depreciation</i>	11641,4	18,4	6070,8	16,1
Прочие затраты / <i>Other expenses</i>	1824,4	2,9	5152,0	13,6
Итого / <i>Total</i>	63315,2	100,0	37769,0	100,0

Таблица 3

Результативные показатели целесообразности применения локальной системы энергоснабжения объектов агрохолдинга «АгроПромкомплектация»

Table 3

Outcome indicators of the expediency of the local power supply system of the "AgroPromkomplektatsiya" holding

Показатели / <i>Indicators</i>	Электроэнергия / <i>Electricity</i>	Тепловая энергия / <i>Heat energy</i>
Предельное значение себестоимости, руб/кВт·ч <i>Marginal cost value, rub/kWh</i>	5,52	1965,1
Фактическая себестоимость, руб/кВт·ч <i>Actual cost value, rub/kWh</i>	3,34	1682,4
Фактический коэффициент экономической эффективности капиталовложений в мини-ТЭЦ <i>Actual coefficient of economic efficiency of investments into mini-CHP</i>	0,53	0,28
% к нормативному значению ( $E_n = 0,20$ ) <i>% of normative value (<math>E_n = 0,20</math>)</i>	265	140

Предложенная методика позволяет определить и оценить экономические показатели при принятии решения о возможности применения локальных источников энергии, в том числе альтернативных и возобновляемых, для энергоснабжения объектов АПК.

Следует выделить такие технико-экономические преимущества применения газопоршневых установок, эксплуатируемых в качестве мини-ТЭЦ, как:

– предельная простота конструкции. По сути это двигатель внутреннего сгорания, когда в качестве топлива используются природный газ или биогаз соответствующего качества;

– несложный процесс эксплуатации. Для обслуживания ГПУ нет необходимости привлекать уникальных специалистов – при должной степени автоматизации и цифровизации возможно удаленное управление работой ГПУ;

– высокая надежность оборудования и большой технический ресурс ГПУ. Нарботка до первого капитального ремонта – 63 тыс. моточасов, допускается проведение четырёх капитальных ремонтов в течение жизненного цикла;

– получение двух видов энергии (электрической и тепловой) позволяет использовать ГПУ

в качестве мини-ТЭЦ и иметь высокий КПД (до 80% и более);

– средний срок службы при надлежащей эксплуатации оборудования – около 30 лет.

### Выводы

1. Представленный методический подход на основе технико-экономической оценки вариантов энергоснабжения агропромышленного производства и объектов на селе позволяет объективно обосновать наиболее предпочтительную систему энергообеспечения по экономическим показателям, принять рациональное компетентное инженерно-техническое решение о надёжном и устойчивом способе обеспечения электрической и тепловой энергией объектов АПК.

2. Применение локального источника электрической и тепловой энергии вполне оправдано для условий Дмитрогорского мясоперерабатывающего завода агрохолдинга «АгроПромкомплектация». Себестоимость производства электрической и тепловой энергии на мини-ТЭЦ существенно ниже предельных их значений (для электроэнергии – в 2 раза, а для тепловой энергии – на 30%). При этом экономическая эффективность капиталовложений в том и ином случае превышает нормативное значение.

### Список использованных источников

1. Водяников В.Т. Технико-экономическая оценка современного состояния сельской электрификации // Агроинженерия. 2020. № 2 (96). С. 46-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-46-50>

2. Столяров С.В., Водяников В.Т. Состояние электроэнергетики и проблемы электроснабжения крупных сельскохозяйственных товаропроизводителей Тверской области // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 2. С. 8-13. <https://doi.org/10.32651/222-8>

3. Vodyannikov V.T., Khudyakova E.V., Nizamutdinov M.M., Subaeva A.K., Safiullin I.N. Technical and economic assessment of local power supply systems for agro-industrial production in the digital economy. *BIO Web Conf.* 2021;37:00132. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700132>

4. Стребков Д.С., Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Показатели потребления топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве и энергоёмкости сельхозпроизводства, их прогноз на период до 2030 года // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 4 (32). С. 4-12. EDN: SKJIGH.

Статья поступила в редакцию 18.11.2023; поступила после рецензирования и доработки 01.03.2023; принята к публикации 03.03.2023

### References

1. Vodyannikov V.T. Technical and economic assessment of the modern condition of rural electrification. *Agricultural Engineering*, 2020;2(96):46-50. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-46-50>

2. Stolyarov S.V., Vodiannikov V.T. State of the electric power industry and the problems of power supply to large agricultural producers in the Tver region. *Economics of Agriculture of Russia*. 2022;2:8-13. <https://doi.org/10.32651/222-8> (In Rus.)

3. Vodyannikov V.T., Khudyakova E.V., Nizamutdinov M.M., Subaeva A.K., Safiullin I.N. Technical and economic assessment of local power supply systems for agro-industrial production in the digital economy. *BIO Web Conf.* 2021;37:00132. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700132>

4. Strebkov D.S., Tikhomirov D.A., Tikhomirov A.V. Indicators of fuel and energy consumption in agriculture and energy intensity of agricultural production and their forecast for the period until 2030. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2018;4(32):4-12. (In Rus.)

Received 18.11.2023; revised 01.03.2023; accepted 03.03.2023