

УДК 338.583

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА С ОРЕБРЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Бадретдинова Гузель Рамилевна
ассистент

SPIN – код автора: 8132-6325

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Гильмутдинова Резеда Исхаковна
студент

SPIN – код автора: 5690-7175

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Дмитриева Оксана Сергеевна
Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 3240-7270

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Актуальной задачей для агропромышленного сектора является повышение энергоэффективности промышленных предприятий. Одним из направлений, позволяющих решить данную проблему, является замена старого оборудования новым. Например, внедрение рекуперативных теплообменных аппаратов, способствующих отказу от электрических нагревателей. С одной стороны, такое решение позволит использовать тепло отходящих газов для нагрева воды. С другой стороны, оно позволит экономить на электрической энергии. Целью работы является проведение экономической оценки использования рекуперативного теплообменного аппарата с оребренной поверхностью с учетом влияния загрязнения теплопередающих поверхностей. Методами анализа были выбраны дисконтирование денежных потоков DCF, расчет периода окупаемости DPP и индекс доходности PI. В процессе расчета были заданы различные значения теплового потока Q_b от 30 до 200 кВт и начальные инвестиции IC от 3500 до 5000 тыс. руб. Полученные результаты показали, что увеличение теплового потока Q_b приводит к снижению периода окупаемости и увеличению индекса доходности. При максимальном значении $Q_b = 200$ кВт проект становится экономически рентабельным даже при максимальных начальных инвестициях. На основе полученных результатов можно подчеркнуть необходимость

UDC 338.583

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

ECONOMIC ASSESSMENT OF USING A RECUPERATIVE HEAT EXCHANGER WITH FINNED SURFACE

Badretdinova Guzel Ramilevna
Assistant lecturer

RSCI SPIN-code: 8132-6325

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Gilmutdinova Rezeda Iskhakovna
student

RSCI SPIN-code: 5690-7175

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Dmitrieva Oksana Sergeevna
Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 3240-7270

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

An urgent task for the agro-industrial sector is to increase the energy efficiency of industrial enterprises. One approach to addressing this issue is to replace old equipment with new technology. For instance, implementing recuperative heat exchangers can eliminate the need for electric heaters. This solution allows the use of waste gas heat for water heating, leading to significant savings on electrical energy. The aim of this study is to conduct an economic assessment of using a recuperative heat exchanger with a finned surface, taking into account the impact of fouling on heat transfer surfaces. The chosen methods of analysis were discounted cash flow DCF, discounted payback period DPP, and profitability index PI. In the calculation process, various heat flow rates Q_b from 30 to 200 kW and initial investments (IC) from 3500 to 5000 thousand rubles were set. The results showed that an increase in heat flow Q_b leads to a reduction in the payback period and an increase in the profitability index. At the maximum heat flow rate of $Q_b = 200$ kW, the project becomes economically viable even with the maximum initial investments. Based on the results obtained, it is essential to maintain a high heat flow and minimize the contamination of heat transfer surfaces to ensure stable operation of the device and quick payback on investments. Thus, the implementation of recuperative heat exchangers is an effective way to increase the energy efficiency of agro-industrial enterprises

поддержания высокого теплового потока и минимизации загрязнения теплопередающих поверхностей для обеспечения стабильной работы аппарата и быстрой окупаемости вложений. Таким образом, внедрение рекуперативных теплообменных аппаратов является эффективным способом повышения энергоэффективности агропромышленных предприятий

Ключевые слова: ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, РЕКУПЕРАТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ, ОРЕБРЕННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ДЕНЕЖНЫЕ ПОТОКИ, ДИСКОНТИРОВАННЫЙ ПЕРИОД ОКУПАЕМОСТИ, ИНДЕКС ДОХОДНОСТИ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕКТОР, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: ECONOMIC ASSESSMENT, RECUPERATIVE HEAT EXCHANGER, FINNED SURFACE, CASH FLOWS, DISCOUNTED PAYBACK PERIOD, PROFITABILITY INDEX, AGRO-INDUSTRIAL SECTOR, ENERGY EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-201-007>

Введение. В современных условиях агропромышленного комплекса важным аспектом является повышение энергоэффективности и оптимизация использования ресурсов. Это не только способствует снижению производственных издержек, но и повышает общую экономическую рентабельность сельскохозяйственных предприятий. Одним из значимых направлений оптимизации является внедрение инновационных теплообменных аппаратов в технологические линии. Такие аппараты способны эффективно использовать тепловую энергию отходящих газов, что является особенно актуальным для агропромышленных предприятий с их высоким потреблением энергии и необходимостью утилизации отходов.

Рекуперативные теплообменные аппараты играют ключевую роль в повышении энергоэффективности процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Экономический анализ их внедрения позволяет оценить не только технические преимущества, но и выявить экономическую целесообразность использования таких систем. В частности, важно учитывать начальные инвестиции, эксплуатационные

затраты, а также потенциальную экономическую выгоду от снижения потребления энергии.

Состояние исследований и актуальность проблемы.

Экономический анализ, проведенный в различных исследованиях, подтверждает, что современные теплообменные аппараты могут значительно снизить затраты на энергию, увеличив коэффициент полезного действия и снизив стоимость системы. Модернизация теплообменного оборудования является наиболее экономически выгодным вариантом технического перевооружения производства благодаря относительно невысоким капитальным вложениям и быстрому сроку окупаемости.

В рамках выполнения НИОКР был рассчитан и собран рекуперативный теплообменный аппарата с оребренной поверхностью, который предназначен для передачи тепла от парогазовых выбросов к холодному теплоносителю – воде, применяемой для хозяйственных нужд (рис. 1). Стоит отметить, что до установки теплообменного аппарата на предприятии для обогрева воды использовались специальные нагреватели воды, потребляемые электрическую энергию [1].



Рисунок 1 – Изображение рекуперативного теплообменника

При отборе тепловой энергии от парогазовых выбросов зачастую происходит загрязнение теплопередающих поверхностей, что существенно снижает эффективность теплообмена и увеличивает операционные

расходы. В связи с этим необходим комплексный подход при экономическом анализе внедрения теплообменных аппаратов, включающий оценку как потенциальных преимуществ, так и возможных рисков эксплуатации оборудования.

Цель исследований. Целью работы является проведение экономической оценки использования рекуперативного теплообменного аппарата с оребренной поверхностью с учетом влияния загрязнения теплопередающих поверхностей.

Материалы и методы исследований. Для оценки экономической эффективности внедрения рекуперативного теплообменного аппарата применялись стандартные методы экономического анализа: дисконтирование денежных потоков, расчет периода окупаемости инвестиций, анализ рентабельности и чистой приведенной стоимости. Эти методы основываются на оценке затрат на инвестиции в проект и прогнозировании доходов от его реализации.

Дисконтированный период окупаемости (DPP) определялся, как время, необходимое для покрытия первоначальных инвестиций дисконтированными денежными потоками, по выражению (1).

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq IC, \quad (1)$$

где CF – ежегодный денежный поток, который поступает от эксплуатации рекуперативного теплообменного аппарата, рассчитываемый по формуле (2), руб.; r – ставка дисконтирования, составляющая 0,16; IC – начальные инвестиционные затраты на проект, руб.

DPP учитывает временную стоимость денег, что позволяет более точно оценить сроки возврата вложенных средств с учетом их стоимости на момент анализа. Данный показатель предоставляет важную информацию о рисках и окупаемости проекта, помогая принять обоснованные решения. DPP, в отличие от простого периода окупаемости,

корректирует денежные потоки на основе ставки дисконтирования, тем самым обеспечивая более реалистичную картину финансовой эффективности проекта.

$$CF = - \frac{4,7 P_{V1} V_1}{\ln \left(1 - \frac{P_{V1} V_1 B}{P_1 Q_b} \right)}, \quad (2)$$

где P_{V1} – цена за холодную воду, руб./м³; V_1 – объем воды, необходимый на очистку теплопередающей поверхности, м³; P_1 – цена за единицу энергии, руб./Дж; Q_b – тепловой поток, передаваемый от парогазовых выбросов к холодной воде; B – параметр, зависящий от параметров потока пара.

Индекс доходности PI определялся как отношение чистой приведенной стоимости доходов к первоначальным инвестиционным затратам по формуле (3). Значения PI варьируются в широких пределах, предоставляя информацию о целесообразности инвестиций. Если $PI > 1$, это указывает на то, что проект приносит больше дохода, чем было инвестировано, и, следовательно, является экономически выгодным. Если $PI = 1$, проект в точности окупает вложенные средства без дополнительной прибыли. Значение $PI < 1$ свидетельствует о том, что проект не окупается и является убыточным.

$$PI = \frac{NPV}{IC} + 1, \quad (3)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость (позволяет оценить разницу между дисконтированными доходами и затратами на проект), руб.

Для анализа были заданы различные сценарии работы теплообменного аппарата с изменением теплового потока Q_b и начальными инвестициями IC от 3500 до 5000 тыс. руб. Стоит отметить, что Q_b равный 200 кВт является оптимальным значением для данного аппарата (рис. 1). Такое значение обеспечивает полное использование возможностей аппарата и максимальную экономию энергии. Однако, учитывая реальные

условия эксплуатации и возможные загрязнения теплопередающих поверхностей, было также необходимо рассмотреть сценарии с пониженными значениями теплового потока для более точной оценки экономической эффективности и рисков проекта. Поэтому Q_b варьировался от 30 до 200 кВт. Также учитывались расходы на использование воды ($P_{V1} = 100$ руб./м³), стоимость единицы энергии ($P_1 = 1,23 \times 10^{-6}$ руб./Дж) и объем воды для одного процесса очистки ($V_1 = 1$ м³).

Результаты исследований. Анализ полученных данных показывает, что увеличение теплового потока Q_b приводит к сокращению дисконтированного периода окупаемости DPP (рис. 3) и увеличению индекса доходности PI (рис. 3). При максимальном значении $Q_b = 200$ кВт проект становится экономически рентабельным ($PI > 1$) даже при максимальных начальных инвестициях $IC = 5000$ тыс. руб. Однако при снижении теплового потока Q_b до 30 кВт рентабельность проекта резко падает, и проект становится нерентабельным ($PI < 1$) при всех значениях начальных инвестиций.

Для варианта с начальными инвестициями $IC = 3500$ тыс. руб. результаты демонстрируют, что проект достигает рентабельности при $Q_b \geq 30$ кВт, если индекс доходности PI составляет 1,03 (рис. 3) и дисконтированный период окупаемости DPP равен 8,57 лет (рис. 2).

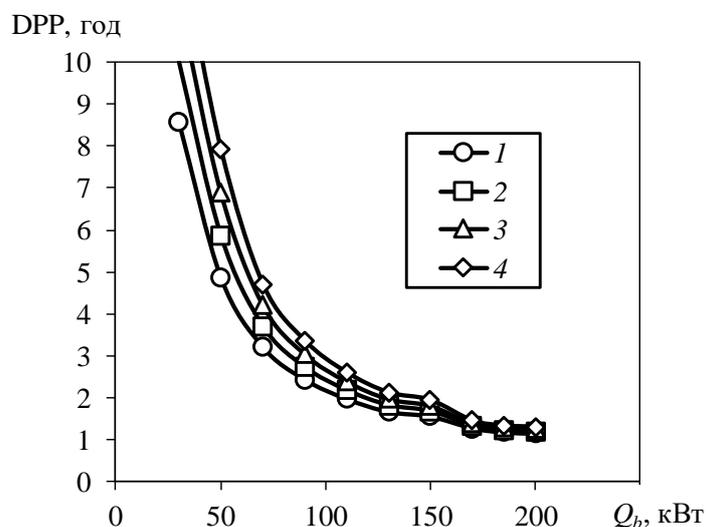


Рисунок 2 – Дисконтированный срок окупаемости проекта от теплового потока при различной начальной стоимости проекта IC, тыс. руб.: 1 – 3500; 2 – 4000; 3 – 4500; 4 – 5000

Таким образом, для достижения высокой экономической эффективности проекта необходимо поддерживать высокий тепловой поток Q_b и минимизировать загрязнение теплопередающих поверхностей, что обеспечит стабильную работу теплообменного аппарата и быстрое возмещение вложенных средств.

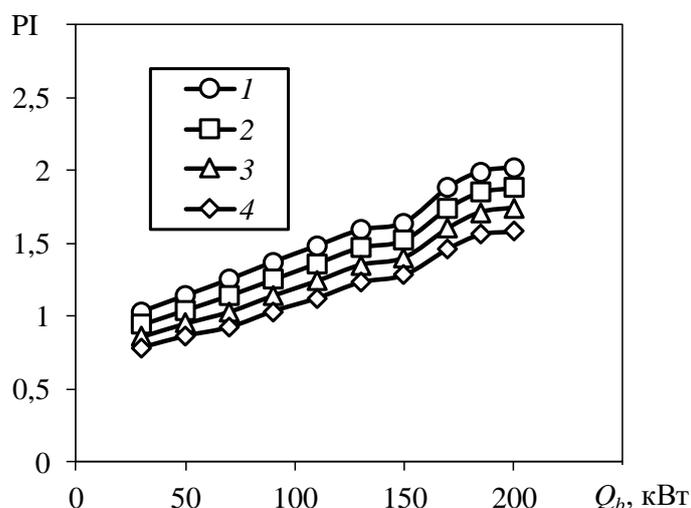


Рисунок 3 – Индекс доходности проекта от теплового потока при различной начальной стоимости проекта IC, тыс. руб.: 1 – 3500; 2 – 4000; 3 – 4500; 4 – 5000

Выводы. 1. Увеличение теплового потока Q_b приводит к снижению дисконтированного периода окупаемости DPP и увеличению индекса доходности PI. В результате проект становится более рентабельным. 2. При максимальном значении $Q_b = 200$ кВт проект становится экономически рентабельным даже при максимальных начальных инвестициях IC = 5000 тыс. руб. 3. При снижении теплового потока Q_b до 30 кВт проект становится нерентабельным при всех значениях начальных инвестиций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061, <https://rscf.ru/project/24-29-20061/>.

Библиографический список

1. Бадретдинова, Г. Р. Оценка моделей турбулентности при внешнем обтекании нагреваемой трубы / Г. Р. Бадретдинова, И. Р. Калимуллин, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 176-186. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-2-176-186.

References

1. Badretdinova, G. R. Ocenka modelej turbulentsnosti pri vneshnem obtekanih nagrevaemoj truby / G. R. Badretdinova, I. R. Kalimullin, V. Je. Zinurov, A. V. Dmitriev // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. – 2023. – T. 25. – № 2. – S. 176-186. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-2-176-186.