

УДК 532.5:621.694

**Золотоносков А.Я.** – аспирант

E-mail: [zolotonosov@mail.ru](mailto:zolotonosov@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

**Конахина И.А.** – доктор технических наук, профессор

**Казанский государственный энергетический университет**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПОДОГРЕВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА В ЦЕХЕ МАСЛОХОЗЯЙСТВА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе предложено техническое решение по модернизации узла нагрева трансформаторного масла в системе маслохозяйства ОАО «Казаньоргсинтез». Дана оценка энергетической и технико-экономической эффективности и определен экономический эффект.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** модернизация, энергетическая и технико-экономическая эффективность.

**Zolotonosov A.Ya.** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

**Konakhina I.A.** – doctor of technical sciences, professor

**Kazan State Power Engineering University**

## **INCREASE ENERGY AND TECHNO-ECONOMIC EFFECTIVENESS OF HEATING TRANSFORMER OIL IN THE SHOP OF OIL INDUSTRY PETROCHEMICAL PLANTS**

### **ABSTRACT**

We proposed a technical solution of upgrading the heating unit of transformer oil in the system of oil industry «Kazanorgsintez». Authors evaluated the energy and technical-economic efficiency and determined economic benefit of this project.

**KEYWORDS:** modernization, energy and technical and economic efficiency.

Процесс нагрева и осушки трансформаторного масла реализуется в цехе маслохозяйства ОАО «Казаньоргсинтез» путем его нагрева в емкостях с электронагревателями и последующего фильтрования масла через промышленные патроны (адсорберы), загруженные цеолитом (рис. 1) [1].

Трансформаторное масло объемом 60...120 м<sup>3</sup>/ч из железнодорожных цистерн подается в емкости объемом 40 м<sup>3</sup>, находящиеся на территории цеха (поз. 7...9).

После открытия задвижек (З-49, З-51 и З-53) масло по трубам с помощью насоса поступает к трехходовому крану КТ-11 и шестеренчатым насосом Н-3 нагнетается на фильтр грубой очистки Ф-2, где освобождается от возможных механических примесей. Затем масло по трубам поступает к системе трехходовых кранов (КТ-4, КТ-8 и КТ-12) и оттуда перекачивается в емкости № 1 и 4, объемом 10 м<sup>3</sup>, где отстаивается и одновременно нагревается до 20-25 °С. Далее через задвижки (З-23, З-35) масло поступает к трехходовым кранам КТ-1...КТ-7, откуда направляется в емкости № 2, 3, 5 и 6, объемом 2,5 м<sup>3</sup>.

После открытия задвижек З-20, З-22, З-24, З-34, З-35, З-37 масло по трубопроводу через трехходовые (КТ-8...КТ-10, КТ-12...КТ-14) и шаровые (ШК-1, ШК-2) краны подается на фильтры грубой очистки Ф-1, Ф-3. Откуда шестеренчатыми насосами (Н-2, Н-4, Н-7, Н-9) перекачивается в емкости с электронагревателями ЭН-1...ЭН-4 (мощностью 45 кВт каждый), где нагревается до 65°С.

Нагретое масло шестеренчатыми насосами (Н-1, Н-3, Н-6, Н-8) перекачивается на осушку в промышленные патроны с цеолитом (ЦП1...ЦП4) и далее по трубопроводу масло направляется в цеха-потребители. Отходы производства (водомазная эмульсия из патронов ЦП1...ЦП4 и масло с загрязнениями) сливаются в емкость № 10 для отработанного масла.

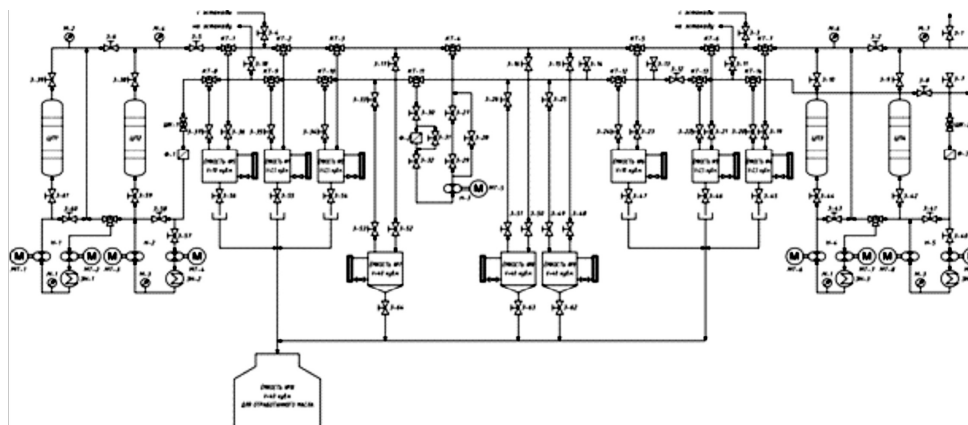


Рис. 1. Схема технологического процесса нагрева и осушки трансформаторного масла

Основные затраты энергии производятся на участке подогрева трансформаторного масла, исходная схема которого в упрощенном виде представлена на рис. 2.

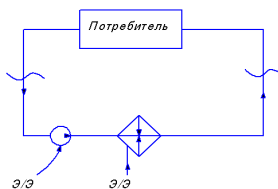


Рис. 2. Участок подогрева трансформаторного масла в исходном виде

Транспортировка и подогрев масла до требуемой температуры 65 °С осуществляются за счет затрат электроэнергии, которая представляет собой качественный энергоресурс с коэффициентом ценности, близким к 1 (рис. 3 и 4). Заштрихованная область на рис. 4 соответствует потерям эксергии на рассматриваемом участке.

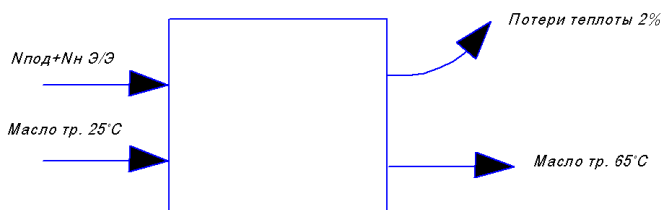


Рис. 3. Структурная балансовая схема участка подогрева трансформаторного масла

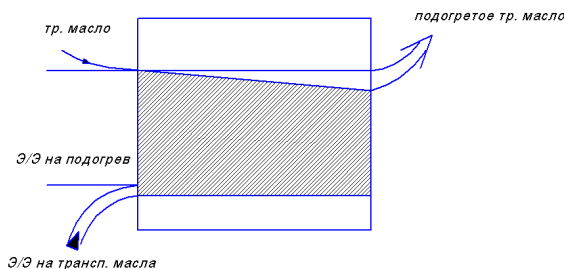


Рис. 4. Потоквая эксергетическая диаграмма участка подогрева трансформаторного масла

Эффективность затрат энергии на подогрев масла в исходной схеме рассчитывается по показателю эксергетического к.п.д. с помощью соотношения [2]:

$$\eta_e = E_{\text{пол}} / E_{\text{подв}} \tag{1}$$

где  $E_{пол.}$  – полезно воспринятая эксергия на участке, кВт;  $E_{подв.}$  – эксергия, подведенная в систему, кВт.

В данном случае  $\eta_e=6,37/49-0,13$ , что указывает на крайне низкую термодинамическую эффективность процесса.

В связи с этим нами на базе проведенных теоретических исследований и последующих инженерных расчетов предложена модернизация процесса нагрева трансформаторного масла в цехе маслохозяйства ОАО «Казаньоргсинтез» путем замены емкостей, со встроенными в них электронагревателями, на теплообменные аппараты типа «труба в трубе» с криволинейными теплообменными элементами «конфузор-диффузор» с оребренной проточной частью, где греющим агентом является отработанный водяной насыщенный пар с температурой 120 °С и давлением 0,3 МПа.

Модернизация процесса касается аппаратного оформления технологии нагрева трансформаторного масла с использованием современных теплообменных аппаратов типа «труба в трубе», использующих активные методы интенсификации теплообмена [1].

После открытия задвижек 3-20, 3-22, 3-24, 3-34, 3-35, 3-37 масло по трубопроводу через трехходовые (КТ-8...КТ-10, КТ-12...КТ-14) и шаровые (ШК-1, ШК-2) краны подается на фильтры грубой очистки Ф-1, Ф-3. Откуда шестеренчатыми насосами (Н-2, Н-4, Н-7, Н-9) перекачивается в теплообменные аппараты типа «труба в трубе» (КД1, КД2) с криволинейными теплообменными элементами «конфузор-диффузор» с оребренной проточной частью, где нагревается до 65 °С. Далее нагретое трансформаторное масло поступает в емкости № 11, 12, откуда шестеренчатыми насосами (Н-1, Н-3, Н-6, Н-8) перекачивается в промышленные патроны с цеолитом (ЦП1...ЦП4), предназначенные для его осушки.

Схема с модернизированным узлом нагрева масла представлена на рис. 5.

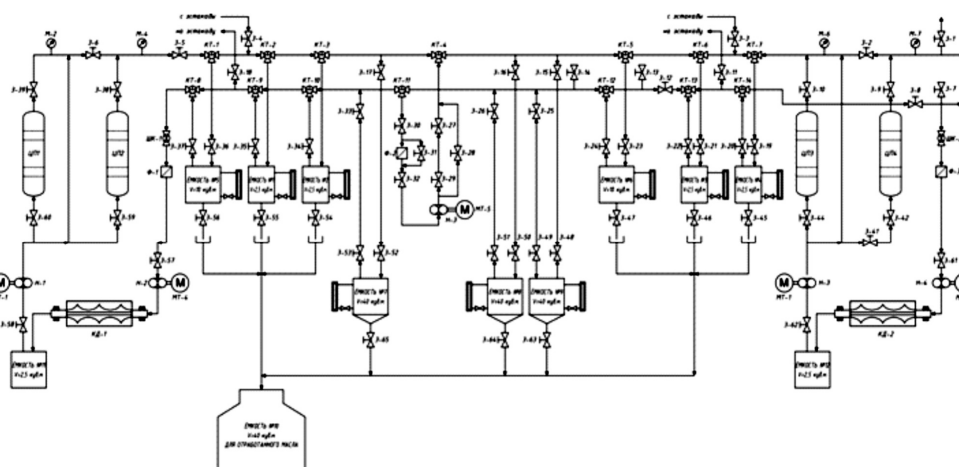


Рис. 5. Модернизированная схема технологического процесса нагрева и осушки трансформаторного масла

На рис. 6 представлена упрощенная модифицированная схема рассматриваемого участка.

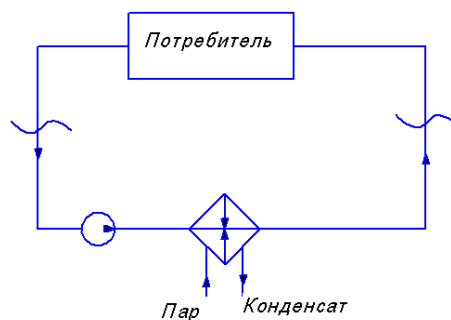


Рис. 6. Модифицированный участок подогрева трансформаторного масла

Структурная балансовая схема модифицированного участка представлена на рис. 7, потоковая эксергетическая диаграмма – на рис. 8.

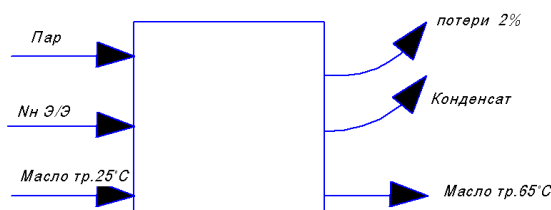


Рис. 7. Структурная балансовая схема модифицированного участка подогрева трансформаторного масла

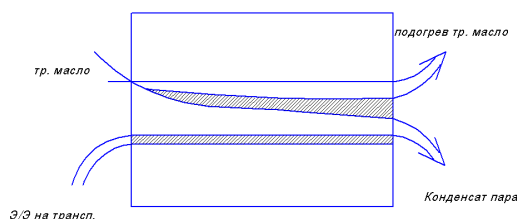


Рис. 8. Потоковая эксергетическая диаграмма модифицированного участка подогрева трансформаторного масла

Подогрев трансформаторного масла осуществляется менее ценным с точки зрения термодинамических показателей теплоносителем – отработанным водяным паром с температурой 120 С. Коэффициент ценности потребляемой теплоты выражается температурной эксергетической функцией и составляет

$$\tau_e = 1 - \frac{T_0}{T} = 1 - \frac{273}{273+120} = 0,31.$$

Эксергетический к.п.д. модифицированного участка составил

$$\eta_e = \frac{6,37}{4+0,31 \times 45} = 0,36.$$

Таким образом, за счет модификации термодинамическая эффективность рассматриваемого процесса увеличилась почти в 3 раза.

Последующие расчеты экономического обоснования также подтвердили целесообразность использования разрабатываемого теплообменного аппарата в технологии нагрева и осушки трансформаторного масла.

Как показали расчеты, первоначальные капиталовложения (по заводским данным) при внедрении теплообменных устройств типа «труба в трубе» с вращающимся оребренным криволинейным теплообменным элементом «конфузор-диффузор» на сегодняшний день составит в среднем 570 тыс. руб.

В соответствии с методическими рекомендациями [3] в качестве основных показателей, используемых для расчетов эффективности инвестиционных проектов, рекомендуются:

- чистый доход;
- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма доходности;
- потребность в дополнительном финансировании;
- индексы доходности затрат и инвестиций;
- срок окупаемости.

Инвестиции в энергосберегающие мероприятия составляют  $K=570$  тыс. руб.

Основные показатели экономии денежных средств при модернизации процесса нагрева трансформаторного масла путем замены емкостей со встроенными в них электронагревателями на теплообменные аппараты типа «труба в трубе», выполненные из криволинейных элементов «конфузор-диффузор» с оребренной проточной частью зависят от суммарной годовой экономии средств за счет снижения затрат электроэнергии и дополнительных суммарных годовых затрат на теплоту вторичного пара.

1) Суммарная годовая экономия денежных средств за счет снижения затрат электроэнергии, тыс. руб./год:

$$41,3 \text{ кВт/ч} \times 2 \times 1,95 \times 2720 / 1000 = 438,1;$$

2) Дополнительные расходы денежных средств на греющий вторичный пар, тыс. руб./год:

$$0,036 \text{ Гкал/ч} \times 2 \times 496 \times 2720 = 97,2.$$

Таким образом, ежегодный расчетный промежуточный доход за счет экономии энергоресурсов в течение всего срока эксплуатации энергосберегающих мероприятий составляет  $\Delta D = 340,9$  тыс. руб./год.

Пусть принятый срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий  $T_{\text{сл}} = 20$  лет; норма дисконта 10 %, т.е.  $r = 0,10$ .

Определяем полный доход за счет экономии энергоресурсов за весь срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий.

Полный дисконтированный доход за счет экономии энергоресурсов за весь срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий  $DD_{T_{\text{сл}}}$ , тыс. руб., определяется по формуле:

$$DD_{T_{\text{сл}}} = \Delta D [1 - (1+r)^{-T_{\text{сл}}}] / r = 2902,3 \text{ тыс. руб.}$$

Полный доход за счет экономии энергоресурсов за весь срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий при наращении (капитализации) поступающих доходов  $ND_{T_{\text{сл}}}$ , тыс. руб., определяется по формуле:

$$ND_{T_{\text{сл}}} = \Delta D [(1+r)^{T_{\text{сл}}} - 1] / r = 19525,04733 \text{ тыс. руб.}$$

определяем чистый доход за счет экономии энергоресурсов за весь срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий:

чистый дисконтированный доход ЧДД, тыс. руб., определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = DD_{T_{\text{сл}}} - K = 23323,3 \text{ тыс. руб.}$$

Чистый доход при наращении (капитализации) всех поступающих доходов ЧНД, тыс. руб., определяется по формуле:

$$\text{ЧНД} = ND_{T_{\text{сл}}} - K = 18955 \text{ тыс. руб.}$$

Бездисконтный срок окупаемости инвестиций  $T_0$ , год, определяется по формуле:

$$T_0 = K / \Delta D = 1,67 \text{ года.}$$

Срок окупаемости инвестиций с учетом дисконтирования поступающих доходов за счет экономии энергоресурсов  $T_d$ , год, определяется по формуле:

$$T_d = -\ln[1 - rT_0] / \ln(1+r) = 1,9 \text{ лет}$$

Срок окупаемости инвестиций при наращении (капитализации) поступающих доходов за счет экономии энергоресурсов  $T_n$ , год, определяется по формуле:

$$T_n = \ln[1+rT_0] / \ln(1+r) = 1,62 \text{ года}$$

Индекс доходности инвестиций при условии дисконтирования всех поступающих мероприятий определяется по формуле:

$$ИД_d = ДД_{T_{сл}} / K = 5,0917.$$

Индекс доходности инвестиций при условии дисконтирования всех поступающих доходов  $ИД_n$ , в течение срока эксплуатации энергосберегающих мероприятий определяется по формуле:

$$ИД_n = НД_{T_{сл}} / K = 34,25446842.$$

Таким образом, расчет технико-экономических показателей модифицированной схемы также показывает высокую эффективность предлагаемых решений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Модернизация узла нагрева трансформаторного масла на базе высокоэффективных теплообменных аппаратов с вращающейся теплообменной поверхностью «конфузор-диффузор» на объектах промтеплоэнергетики // ВИНТИ. – М., 2011. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ от 06.05.2011 № 210 – В 2011.
2. Дмитриев А.Н., Ковалев И.Н., Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК – ПРЕСС, 2005. – 120 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госкомитетом по строительной, архитектурной и жилищной политике / Рук. авт. кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: ОАО «НПО» Изд-во «Экономика», 2000. – 880 с.

### REFERENCES

1. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov Ya.D. Modernization of the heating unit of transformer oil with high-efficiency heat exchangers with rotating heat-exchange surface «confuser-diffuser» for objects of power engineering industry. // VINITI. – M., 2011. – 20 p. – Dep. at VINITI on 06.05.2011 № 210 – In 2011.
2. Dmitriev A.N., Kovalev I.N., Tabynschikov U.A., Shilkin N.V. Guidelines for assessing the effectiveness of investments in energy saving measures. – M.: AVOK – PRESS, 2005. – 120 p.
3. Methodical recommendations for assessing the effectiveness of investment projects (second edition). Approved by the Ministry of Economy of RF, Ministry of Finance of RF, the State Committee on Construction, Architecture and housing policy / hands. Auth. count.: Kosov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G. – M.: JSC «NPO» Publishing house «Economy», 2000. – 880 p.