

К ОБОСНОВАНИЮ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

А.А. Глущенко, к. т. н., доцент, Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: 89374564933. e-mail: oildel@yandex.ru

Р.А. Зейнетдинов к. т.н., доцент, Санкт-Петербургский аграрный университет. e-mail: zra61@mail.ru

Ключевые слова: *Отработанные моторные масла, регенерация масел, эксергия, термоэкономический анализ.*

Рассмотрены возможности повышения экономической эффективности регенерационных установок по регенерации моторных масел использованием ее внутренних энергетических ресурсов. Предложена оценка схем энерготехнологических процессов регенерации моторных масел применением эксергетического метода.

В процессе эксплуатации в двигателе свойства моторных масел изменяются. Основные причины ухудшения качества смазочных масел – окисление; термическое разложение; механическое загрязнение; обводнение и разжижение топливом [1, 2, 3]. В большинстве случаев эти изменения не исключают возможности повторного использования масел после соответствующей обработки и восстановления их физико-химических свойств [4].

При решении проблемы рационального использования отработанных моторных масел (ММО) существуют два пути: сжигание его в топках котельных и повторное использование после очистки и дополнительной обработки. В условиях непрерывного роста цен на нефтепродукты и повышения экологических требований к отработанным моторным маслам второе направление приобретает более актуальный характер. Использование регенерированных масел даёт большой экономический эффект, обеспечивает экономию нефтепродуктов, уменьшает количество отходов, загрязняющих окружающую среду.

В настоящее время для регенерации отработанных масел применяют разнообразные технологии, основанные на физических, химических и физико-химических процессах и заключающиеся в удалении из масла продуктов старения и загрязнений [3,

5]. С помощью физических способов регенерации, не затрагивая химической основы обрабатываемых масел, удаляют механические примеси, воду, асфальто-смолистые соединения, коксообразные вещества. Химические способы регенерации используют для удаления асфальто-смолистых, кислотных, гетероорганических соединений и воды. Физико-химическими способами регенерации удаляются асфальтно-смолистые и кислотные соединения, эмульгированная и растворённая вода. При этом сложность изучения кинетики вышеназванных процессов регенерации ММО с целью определения режима, соответствующего максимальному выходу регенерированного масла с необходимой степенью очистки, связана прежде всего с тем, что ММО являются системой многокомпонентной.

Выбор способа регенерации масел определяется двумя факторами: характером требований, предъявляемых к качеству товарного масла данного назначения; природой и количеством содержащихся в масле загрязнений и продуктов старения.

Анализ литературных источников и результатов исследований [6, 7, 8] показывает, что в настоящее время нет оптимальной методики оценки эффективности выбираемых технологий регенерации ММО. Поскольку современные технологии регенерации ММО предусматривают неоднократное нагрева-

ние и охлаждение регенерируемого продукта, обоснование решения вопросов регенерации теплоты (вторичное энергоиспользование) представляется одним из направлений совершенствования теплопотребления и снижения энергоёмкости процесса. При этом регенерация теплоты может осуществляться путём использования физической теплоты отходящих потоков масла для нагрева входящих в этот же аппарат потоков. Это обеспечит экономию тепловой энергии как на стадии предварительного подогрева исходного потока, так и в процессе регенерации.

Практика оптимизации энерготехнологических систем свидетельствует о большой ценности термодинамических методов анализа, позволяющих на основе уравнений термодинамики более простыми и вместе с тем точными способами выявить наиболее выгодные схемы и параметры процесса. Поиск оптимальных вариантов энерготехнологических схем регенерационных установок на основе показателей термодинамической эффективности позволяет в большинстве случаев получить необходимую информацию об их энергетической эффективности. При этом наиболее перспективной основой для проведения такого анализа и оптимизации является эксергетическая концепция, вытекающая из второго начала термодинамики. Эксергетический метод анализа позволяет оценить степень использования энергии, её потери, а также получить распределение этих потерь по отдельным аппаратам системы и выявить наименее эффективные из них [9].

При анализе и оптимизации физико-химических процессов регенерации ММО используют физическую и химическую эксергии вещества, а также энергию теплового потока [10]. Физическая эксергия E является результатом разницы температуры и давления рассматриваемого вещества (ММО) соответственно от температуры T_0 и давления P_0 окружающей среды. Химическая эксергия E_x связана с установлением равенства химических потенциалов между соответствующими компонентами рассматриваемого потока и «окружающей среды».

Мольная эксергия потока вещества

$$E_m = H(T, P) - H_0(T_0, P_0) - T_0 [S(T, P) - S_0(T_0, P_0)] - \sum_{i=1}^n x_i (\mu_i - \mu_{i0}), \quad (1)$$

где E_m , H , S – соответственно, мольные эксергия, энтальпия и энтропия потока вещества, $KДж/моль$, $KДж/м^3$; m_p , x_i – соответственно, химический потенциал и мольная доля i -го компонента смеси; n – число компонентов; индексом “0” помечены параметры, относящиеся к окружающей среде.

Эксергия теплового потока

$$E_q = Q(T - T_0)/T, \quad (2)$$

где T – температура потока, $^{\circ}K$.

При анализе технологических процессов регенерации ММО необходимо учитывать физическую и химическую составляющие эксергии.

Тогда в общем случае приращение мольной эксергии вещества при изменении температуры, давления и состава имеет вид:

$$dE_m = \left(\frac{\partial E_m}{\partial T} \right)_{P, x_1, \dots, x_n} dT + \left(\frac{\partial E_m}{\partial P} \right)_{T, x_1, \dots, x_n} dP + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial E_m}{\partial x_i} \right)_{P, T, x_1, \dots, x_n} dx_i = \bar{E}_T dT + \bar{E}_P dP + \sum_{i=1}^n \bar{E}_i dx_i, \quad (3)$$

После интегрирования получаем:

$$E_m = \int_{T_0}^T \bar{E}_T dT + \int_{P_0}^P \bar{E}_P dP + \sum_{i=1}^n \int_{x_{i,0}}^{x_i} \bar{E}_{x_i} dx_i = E_T + E_P + E_x = E_{\Phi} + E_x, \quad (4)$$

где E_T – изотермическая эксергия, связанная с разницей давления между технологическим потоком и окружающей средой, $KДж/м^3$; E_P – изобарная эксергия, являющаяся следствием отличия температуры вещества от состояния окружающей среды, $KДж/м^3$.

Изобарная составляющая физической эксергии

$$E_m = \int_{T_0}^T \bar{E}_T dT + \int_{P_0}^P \bar{E}_P dP + \sum_{i=1}^n \int_{x_{i,0}}^{x_i} \bar{E}_{x_i} dx_i = E_T + E_P + E_x = E_{\Phi} + E_x, \quad (5)$$

Для расчёта энтальпии и энтропии можно использовать следующие выражения [11]:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_{P, x_i} = C_p \quad \text{и} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_{P, x_i} = C_p / T,$$

(6)

где C_p – массовая теплоёмкость потока при постоянном давлении, $KДж/Кг \cdot K$; T –

температура технологического потока, °К.

Тогда, принимая $C_p = const$, получаем

$$E_T - E_{T_0} = C_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln(T/T_0) \right]. \quad (7)$$

В аппаратах регенерационной установки, где технологические процессы (испарение, конденсация) происходят при постоянной температуре, изменение эксергии

$$E_T - E_{T_0} = \Delta H (1 - T/T_0). \quad (8)$$

Изотермическая составляющая физической эксергии

$$\left(\frac{\partial E_m}{\partial P} \right)_{T, x_i} = \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{T, x_i} - T_0 \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_{T, x_i}. \quad (9)$$

Тогда, используя следующие соотношения

$$\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{T, x_i} = V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, x_i} \quad \text{и} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_{T, x_i} = - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, x_i}, \quad (10)$$

получаем

$$\left(\frac{\partial E}{\partial P} \right)_{T, x_i} = V - (T - T_0) \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, x_i}. \quad (11)$$

Если газовая смесь (паровая фаза) неидеальна и описывается уравнением состояния со вторым вириальным коэффициентом β [9], то

$$V = \frac{RT}{P} + \beta, \quad (12)$$

где β – второй вириальный коэффициент, являющийся функцией температуры и давления (расчёт коэффициента β производится обычно по уравнениям Бертло или Редлиха и Куонга).

Дифференцируя выражение (12), получаем

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, x_i} = \frac{R}{P} + \left(\frac{\partial \beta}{\partial T} \right)_{P, x_i}. \quad (13)$$

Следовательно, изменение изотермической эксергии составляет

$$E_p - E_{p_0} = RT_0 \ln(P/P_0) + T_0 (P - P_0) \left(\frac{\partial \beta}{\partial T} \right)_{P, x_i}. \quad (14)$$

При оценке химической эксергии в

качестве окружающей среды принимают идеальный газ, и работу выравнивания химических потенциалов рассматриваемого вещества измеряют суммой энергии, необходимой для осуществления обратимого перевода данного вещества в состояние равновесия с окружающей средой, т.е. в идеальное состояние и эксергия идеального вещества.

Этот перевод может быть осуществлён следующим образом. В начале рассматривают перевод водотопливных фракций ММО при неизменных параметрах процесса испарения из жидкого состояния в парообразное, а далее – перевод паровой фракции жидкости в идеальное состояние.

Уравнение, характеризующее эксергию водотопливных фракций при P_0 и T_0 , имеет вид:

$$E_x = E_p^{ж} + E_p'' + E_u, \quad (15)$$

где $E_p^{ж}$ – эксергия перехода из жидкости в пар при неизменном составе и параметрах ($P=idem, T=idem, n_i=idem$), КДж/м³; E_p'' – эксергия перехода паров жидкости в идеальное состояние при неизменном составе и параметрах, КДж/м³; E_u – эксергия идеального газа состава паров жидкости, КДж/м³.

Величину E_p^* рассчитывают эмпирическим путём с той лишь разницей, что процесс перехода водотопливной фракции ММО из жидкого состояния в пар происходит при температуре кипения $T_{кип}$, а затем энергию, затраченную на испарение, приводят к уровню стандартного состояния вещества при T_0 .

Величину E_p^* при изотермическом расширении рассчитывают следующим образом:

$$E_p'' = H_{ex} - H_{вых} + T_0 \Delta S_{необр}. \quad (16)$$

Величина E_u представляет собой минимальную работу, которую нужно затратить при обратимом разделении идеальной смеси паров [9]:

$$E_u = -RT_0 \sum x_i \ln g_i x_i, \quad (17)$$

где g_i – коэффициент активности i -го компонента.

Тогда, химическая эксергия, возникающая из-за различия составов рассматриваемого вещества и окружающей среды, в процессе разделения

$$E_x = E_p^{жк} + \Delta H + T_0 \Delta S_{необр} - RT_0 \sum x_i \ln y_i x_i \quad (18)$$

С помощью этого выражения можно определить химическую эксергию технологического потока ММО.

Анализ термодинамической эффективности технологических систем в целом или отдельных их элементов проводят на основе эксергетического баланса:

$$\sum E_{подв} = \sum E_{отв} + \sum E_{пот} = \sum E_{отв} + \sum E_{пот}^{вн} + \sum E_{пот}^{вн}, \quad (19)$$

где $\dot{a} E_{подв}$ – подведённые к системе эксергии различных видов, $КДж/м^3$; $\dot{a} E_{отв}$ – отведённые от системы эксергии, $КДж/м^3$; $\dot{a} E_{пот}$ – потери эксергии, $КДж/м^3$; $\dot{a} E_{пот}^{вн}$ – внутренние потери эксергии, связанные с необратимостью процессов, протекающих внутри системы (потери от гидравлических сопротивлений, неравновесных тепло- и массообменных процессов и т.д.), $КДж/м^3$; $\dot{a} E_{пот}^{вн}$ – внешние эксергетические потери, связанные с условиями взаимодействия системы с окружающей средой (неиспользуемая эксергия потоков веществ, выходящая из системы), $КДж/м^3$.

Уравнение эксергетического коэффициента полезного действия (КПД), характеризующего термодинамическое совершенство установки, можно записать следующим образом:

$$\eta_e = \frac{\sum \Delta E_{пол}}{\sum \Delta E_{затр}}, \quad (20)$$

где $\Delta E_{пол}$ – полезная эксергия, произведённая в ходе технологического процесса, $КДж/м^3$; $\Delta E_{затр}$ – общая затраченная эксергия, $КДж/м^3$.

В условиях регенерации ММО эксергетический КПД

$$\eta_e = \frac{\sum \Delta E_{i,p}^{пол} + \sum \Delta E_{i,T}^{пол}}{E_{эл} + \Delta E_Q + \sum \Delta E_{i,p}^{затр} + \sum \Delta E_{i,T}^{затр}}, \quad (21)$$

$\Delta E_{i,p}^{пол}$, $\Delta E_{i,T}^{пол}$, $\Delta E_{i,p}^{затр}$ и $\Delta E_{i,T}^{затр}$ –

где соответственно изменение полезных и затраченных термомеханических эксергий

компонентов ММО; $E_{эл}$ – эксергия электроэнергии, $КДж/КВт$; ΔE_Q – общие затраты эксергии подведённой и отведённой теплоты, $КДж/м^3$.

При этом для расчёта КПД и последующей эксергетической оптимизации технологического процесса целесообразно выразить все величины, входящие в уравнение (15) в явном виде, как функции параметров технологического режима. Тогда выражение (21) позволит достаточно убедительно обосновать наивыгоднейшую с позиции термодинамического анализа схему энерготехнологической установки для регенерации ММО.

Особый интерес представляет термозкономический анализ технологических процессов регенерации ММО, основанный на тесной связи эксергетических и стоимостных показателей. Термозкономическая оценка позволяет установить оптимальный компромисс между термодинамической эффективностью процесса и величиной неэнергетических затрат на его осуществление. Основной целью при этом является минимизация приведенных затрат на единицу эксергии продукта. Критерий оптимизации процесса имеет следующий вид:

$$R_i = \min C = \min \left[\frac{\sum C_i E_i + \sum K_i}{G_y} \right], \quad (22)$$

где C_i – стоимость единицы эксергии потоков ММО и энергии, $КДж/м^3 руб.$; E_i – эксергия ММО, $КДж/м^3$; K_i – капитальные и эксплуатационные затраты, $руб.$; G_y – производительность регенерационной установки, $м^3/ч$.

Таким образом, проведенная по указанной выше методике термодинамическая оптимизация позволяет надежно выбрать из множества предложенных способов регенерации ММО тот, который обеспечивает наибольшую экономию энергетических ресурсов, а термозкономический анализ дает объективную оценку целесообразности регенерации ММО.

Библиографический список

1. Григорьев М.А. и др. Качество моторного масла и надежность двигателей. М.: Издательство стандартов. 1981. – 232 с.

2. Мещерин Е.М., Назаров В.И., Нафтуллин И.С. Современные методы исследования, прогнозирования и оптимизации эксплуатационных свойств моторных масел. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – 64 с.

3. Регенерация отработанных масел и их использование. Обз. информ.// К.В. Рыбаков, В.П. Коваленко, В.В. Нигородов. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1989.–26 с.

4. Сурин С.А. Отработанные масла: вторая жизнь // Мир нефтепродуктов. – 2000. – №2 – с. 22–24.

5. Гусев О.Н. Современные методы переработки и рационального использования отработанных масел. – М., 1987. – 56 с.

6. Бутов Н.П. Система восстановления и использования отработанных автотракторных масел в АПК. Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Зеленоград, 1996. – 40 с.

7. Потапков А.Г. Совершенствование

технологии регенерации отработанных смазочных масел путем моделирования регенерационного комплекса. Автореф. диссер. канд. техн. наук. – СПб, 1999 – 16 с.

8. Картошкин А.П. Экономия энергетических ресурсов путем создания и реализации комплексной технологии регенерации отработанных смазочных масел для автотракторной техники. Автореф. д-ра техн. наук. – СПб, 2002 – 50 с.

9. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Химия, 1973. – 296 с.

10. Кафаров В.В., Ветохин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств.– М.: Наука, 1987. – 624 с.

11. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 584 с.

УДК 621.436

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА ИЗ ГОРЧИЦЫ

А.П. Уханов, доктор технических наук, профессор

ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

В.А. Голубев, старший преподаватель

ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия»

e-mail: golubevugsha@mail.ru

Ключевые слова: альтернативное топливо, дизель, растительные масла, горчица, горчичное масло, смесевое растительно-минеральное топливо, теоретические расчеты, показатели.

Описаны перспективы выращивания горчицы в качестве источника топлива для дизеля, представлены основные характеристики горчичного масла и его смесей с минеральным дизельным топливом. Приведены уточнения к методике и результаты расчета основных показателей рабочего процесса и эффективных показателей дизеля Д-243 при работе на смесевом растительно-минеральном топливе различного состава.

Увеличение потребления моторных топлив при прогнозируемом снижении производства нефтепродуктов определяет необходимость в перестройке энергетического баланса. Если в 1979 г. на долю нефти приходилось около 50% всех потребляемых энергоносителей, то в настоящее время ее доля составляет лишь около 35%, причем

относительное потребление нефти продолжает неуклонно снижаться. Из-за роста спроса на нефть будет непрерывно нарастать ее дефицит, который к 2025 г. достигнет 16 млн. баррелей (2,5 млн. т.) в день [1].

Переход на альтернативное топливо из возобновляемых источников - один из путей решения данной проблемы. Перспек-