

УДК 631.3

ОСУШКА ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕЭМУЛЬГАТОРА

Глущенко Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 89374564933;
e-mail: oildel@yandex.ru.

Ключевые слова: осушка, отработанное масло, деэмульгатор

Для осушки отработанных масел предложен деэмульгатор на основе профилированного сопла Лаваля. Определены условия для обеспечения испарения растворенной в масле воды при прохождении его через сопло. Представлены результаты экспериментальных исследований предлагаемого деэмульгатора.

Введение

В настоящее время все технологические процессы очистки масел основаны либо на его нагреве, либо на использовании реагентов (коагулянтов) для поглощения воды (осушки). К высокотемпературным процессам относят: перегонку (атмосферно-вакуумную или в присутствии катализаторов), термический крекинг, термодиффузионное разделение и др. Использование существующих способов требует дорогостоящего оборудования. Кроме того, технологический процесс очистки масел достаточно сложен, а выход товарного продукта не превышает 60...80 %. Использование коагулянтов приводит к образованию труднорегенерируемых отходов в виде прореагировавших веществ, утилизация которых зачастую представляет большую экологическую опасность, чем сами отработанные масла.

Использование таких технологий в условиях небольших аграрных предприятий неэффективно, и при незначительных объемах переработки (до 1000 т в год) себестоимость восстановленных масел превышает стоимость товарных масел в 1,5...3 раза [1].

Таким образом, необходимо использовать безопасные технические средства, обеспечивающие эффективное осушение отработанного масла, имеющие высокую производительность и низкую стоимость.

Объекты и методы исследований

В качестве технических средств для осушки масла рекомендуется использовать деэмульгаторы, работа которых основана на истечении жидкости через суживающееся сопло. Принцип работы деэмульгатора предполагает выделение паров воды из недогретого до насыщения и вскипающего при истечении через сопло отработанного

масла. В выходном срезе сопла деэмульгатора формируется сверхзвуковая струя мелкодисперсной парокapельной структуры. В условиях больших перепадов входного P_1 и выходного P_2 давлений и критической скорости, равной местной скорости звука, осуществляется процесс расширения масла с высоким объемным паросодержанием ($x_n \rightarrow 1$). Наиболее известными устройствами, в которых реализуются эти условия, являются суживающиеся и расширяющиеся сопла Лавала.

Согласно многочисленным исследованиям [2, 3, 5], установлено, что процесс парообразования в расширяющихся соплах при истечении недогретой до насыщения жидкости (рис. 1) начинается в области минимального сечения d_{min} .

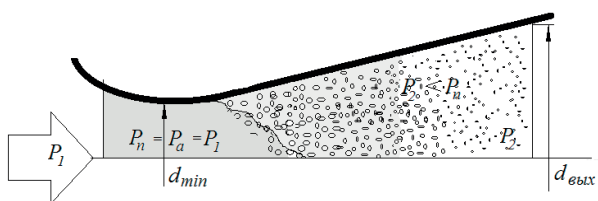


Рис. 1 - Схема процесса парообразования в сопле Лавала при истечении недогретой жидкости (обозначения в тексте)

Это объясняется тем, что в жидкости, поступающей в сопло, давление пара внутри пузырьков P_n равно давлению насыщения P_a и давлению потока жидкости P_1 . При пересечении минимального сечения увеличивается скорость с одновременным падением давления в этом месте. Если абсолютное давление при этом достигает значения, равного давлению насыщенных паров жидкости $P_2 = P_a$ при данной температуре, или значения, равного давлению, при котором начинается выделение из нее растворимых газов $P_2 = P_n$, то в данном месте потока наблюдается интенсивное парообразование (кипение) и выделение газов. Таким образом, для испарения растворенной в масле воды при прохождении через сопло, необходимо обеспечить соблюдение неравенства $P_2 < P_a = P_1$ или $P_2 < P_n = P_1$). Зная, что с увеличением скорости масла давление снижается, в сопле необходимо обеспечить та-

кую скорость масла, которая обеспечивает снижение давления потока масла до P_2 .

Исходя из классической теории истечения жидкости или газа через суживающееся сопло, скорость потока и массовый расход определяют сравнением критического отношения давлений $\beta > P_2/P_1$.

Показатель адиабаты процесса для влажного насыщенного пара [2]

$$k = 1,035 + 0,1x_n, \quad (1)$$

где x_n - содержание водяного пара в масле, %.

По полученному значению адиабаты k определяют критическое отношение давлений β [4]. Исходя из условия $\beta = P_2/P_1$ и $P_2 = P_{атм}$, давление подачи масла в сопло

$$P_1 = \beta P_2. \quad (2)$$

Исходя из требования перепада давления, которое необходимо обеспечить при прохождении отработанного масла через сопло, определяют конструктивно-геометрические параметры деэмульгатора - диаметр минимального сечения d_{min} , диаметр выходного сечения $d_{вых}$, а также длину l расширяющейся части сопла (рис. 2).

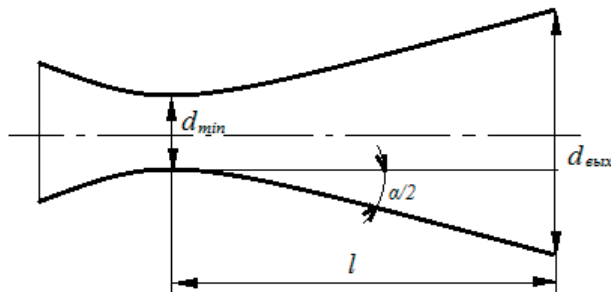


Рис. 2 - Схема расчета сопла деэмульгатора: α - угол расширения сопла

Поскольку в минимальном сечении сопла должны обеспечиваться критическая скорость истечения и максимальный массовый расход масла, площадь минимального сечения рассчитывают по формуле:

$$q_{max} = \psi S_{min} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}}, \quad (3)$$

где ψ - коэффициент, зависящий от показателя адиабаты; S_{min} - площадь минимального сечения сопла, м²; P_1 - давление



Рис. 3 – Установка деемульгирования масел (обозначения в тексте)



Рис. 4 – Профилированное сопло деемульгатора

потока масла на входе, МПа; V_1 - удельный объем масла при входе в сопло, м³/кг.

Отсюда, при известных значениях давления и скорости потока масла, площадь сечения сопла

$$S_{\min} = \frac{q_{\max}}{\psi \sqrt{\frac{P_1}{\nu_1}}} \quad (4)$$

Задавшись необходимым массовым расходом q_{\max} , исходя из производительности установки деемульгирования, минимальный диаметр сопла

$$d = \sqrt{\frac{q_{\max}}{\psi \pi \sqrt{\frac{P_1}{\nu_1}}}} \quad (5)$$

При допущении равенства массового расхода недогретой жидкости при прохождении через минимальное и выходное сечения сопла, площадь выходного сечения

$$S_{\text{вых}} = \frac{q_{\max}}{\sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{P_1}{\nu_1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}}, \quad (6)$$

где P_2 - давление потока масла на выходе из сопла, МПа.

Поскольку на границе среза сопла при выходе струи выходу пара из масла оказывает сопротивление сила поверхностного натяжения масла D_σ , то пары воды в сечении сопла будут выделяться при выполнении следующего условия:

$$P_n + P_\sigma > P_2, \text{ т.е. } P_1 = P_n + P_\sigma > P_2. \quad (7)$$

Тогда, с учетом этого условия, уравнение (6) примет вид:

$$S_{\text{вых}} = \frac{q_{\max}}{\sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{P_n + P_\sigma}{\nu_1} \left[\left(\frac{P_2}{P_n + P_\sigma} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_n + P_\sigma} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \quad (8)$$

Длину расширяющейся части сопла определим из соотношений в прямоугольном треугольнике, образуемом минимальным и выходным сечениями и углом расширения сопла $\text{tg}(\alpha/2)$ (рис. 2). Тогда

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{d_{\text{вых}} - d_{\min}}{2l}. \quad (9)$$

Откуда

$$l = \frac{d_{\text{вых}} - d_{\min}}{2 \text{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (10)$$

Результаты исследований

На основании расчетов получены следующие конструктивно-геометрические параметры деемульгатора в виде сопла Лаваля: диаметр минимального сечения 5 мм, диаметр выходного сечения - 14 мм, длина расширяющейся части сопла - 117 мм при угле расширения сопла 10°.

Исследования процесса осушки отработанного масла проводили на экспериментальной установке (рис. 3), включающей в себя емкость для нагрева масла 1, масляный насос НШ-32У 2, деемульгатор 3 (рис. 4). Масло нагревали в емкости с помощью электрических тэнов. Перед началом исследований определяли содержание

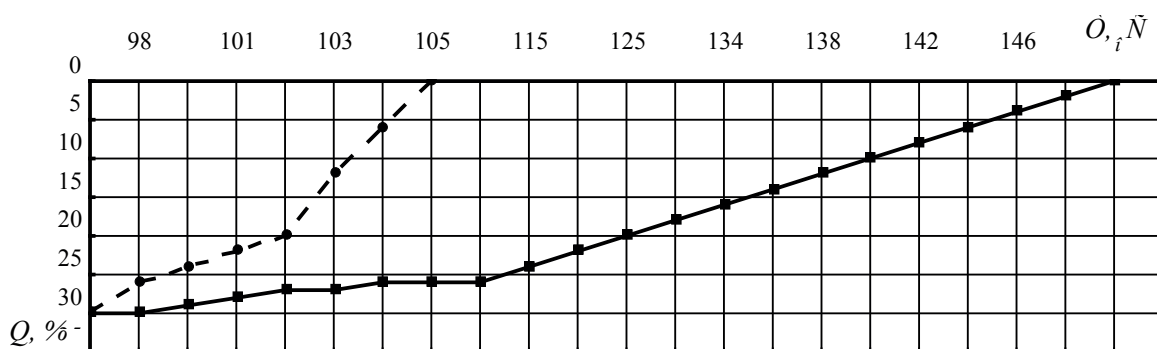


Рис. 5 – Изменение содержания воды в масле Q от температуры нагрева t — - без деэмульгатора, - - - с деэмульгатором

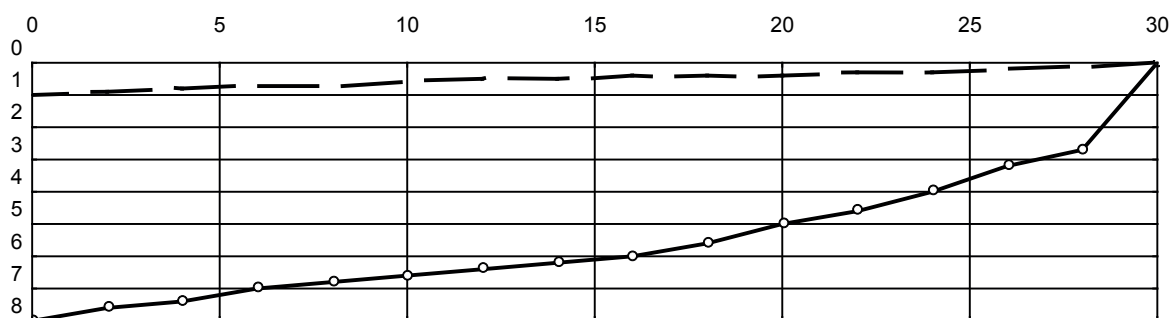


Рис. 6 – Зависимость времени t обезвоживания от содержания воды Q в масле — - без деэмульгатора, - - - с деэмульгатором

воды в масле. В процессе обезвоживания с интервалом нагрева $20\text{ }^\circ\text{C}$ отбирали пробы для определения процентного содержания в масле воды. Масло нагревали и осушали до отсутствия воды в пробах.

Деэмульгирование отработанных масел проводили стандартным методом – нагревом масла и с использованием предлагаемого деэмульгатора. В процессе исследований установлено, что для осушки традиционным способом водно-масляную эмульсию необходимо нагреть до температуры $150\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 5), а с использованием деэмульгатора – только до $105\text{ }^\circ\text{C}$.

При этом использование деэмульгатора позволяет осушить отработанное масло всего за час, в то время как осушка того же объема водно-масляной эмульсии без деэмульгатора занимает 8 часов (рис. 6).

Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что использование деэмульгатора позволяет осушить масло при температуре $105\text{ }^\circ\text{C}$, в отличие от наиболее распространенного метода осушки, при котором тре-

буется нагрев масла до $150\text{ }^\circ\text{C}$. При температуре $105\text{ }^\circ\text{C}$ масло не окисляется, что позволяет сохранить его эксплуатационные свойства, а время осушки снижается с 8 ч до 1 ч.

Библиографический список

1. Глуценко, А.А. Экологически безопасные технологии для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла с использованием гидроциклона: монография / А.А. Глуценко. – Ульяновск: УГСХА, 2011. – 185 с.
2. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – Москва - Ижевск: R&C Dynamics, 2000. - 576 с.
3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. - М.: Наука, 1987. - 840 с.
4. Гольдштейн, Р.В., Городцов В.А. Механика сплошных сред. Часть 1. Основы и классические модели жидкостей. - М.: Наука, Физматлит, 2000. - 256 с.
5. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. - М.: Наука, 1986. Т. 6. - 736 с.