



УДК 62-642

**Чичурин Александр Геннадьевич**, доцент, к.т.н., доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок

Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

**Шураев Олег Петрович**, доцент, к.т.н., доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок

Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МАЗУТА ПУТЕМ ПЕРЕГРЕВА СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В НЕМ ВОДЫ

*Аннотация. Рассмотрен один из способов обезвоживания мазута. Для данного способа предложено новое техническое решение. Приведены оценочные расчеты, показывающие осуществимость предложения.*

*Ключевые слова: обводнение мазута, обезвоживание мазута, выпаривание, перегрев*

В настоящее время мазут широко применяется на тепловых электростанциях в качестве резервного, а зачастую и основного топлива.

В процессе длительного хранения мазута происходит его обводнение. В настоящее время в запасниках тепловых электростанций и других энергетических объектов находятся миллионы тонн обводненного мазута [1, 2]. Температура хранения мазута порядка 60°C. При его охлаждении до 40°C включается разогрев с помощью подогревателя [3-5].

Основными причинами обводнения являются насыщение мазута парами воды из окружающего воздуха и при его разогреве острым паром [3, 5]. В составе обводненного мазутов содержание воды может достигать до 30-50% [1, 2], что существенно превышает требования ГОСТ 10585-99, согласно которым содержание воды в мазуте должно быть не более 1%. Вода в мазуте может концентрироваться как в больших, так и в мелких глобулах, и находится в виде взвеси в течение длительного времени.

При длительном хранении обводненного мазута развиваются колонии микроорганизмов. Развитие микроорганизмов способствует эмульгированию топлив, образованию слизи. Это приводит к стабилизации дисперсной системы вода-мазут и затруднениям при отделении воды от мазута методом отстаивания. Наиболее часто для отделения мазута от воды применяется метод выпаривания, то есть нагрев мазута до температуры кипения воды. При этом для удаления воды, находящейся во взвешенном мелкодисперсионном состоянии, греть мазут необходимо до температуры порядка 170 °C и поддерживать данную температуру достаточно длительное время [4, 5]. На рис. 1 показан примерный характер изменения температуры мазута во время процесса выпаривания из него воды.

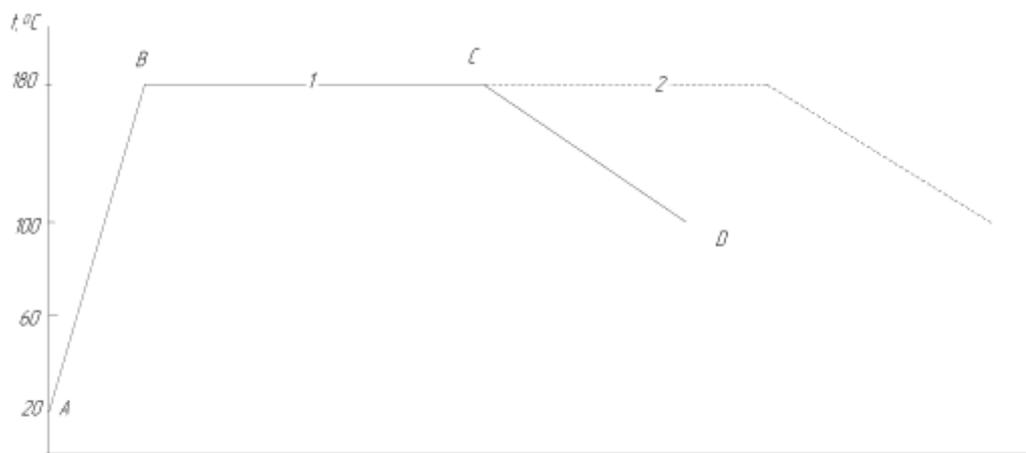


Рис. 1 Характер изменения температуры мазута во время процесса выпаривания из него воды

Как следует из рис. 1, вначале, по мере прогрева обводненного мазута, его температура постепенно повышается, и после достижения некоторого значения она остается практически неизменной. Это значение соответствует процессу кипения воды в глобулах воды и зависит от степени дисперсности воды в составе мазута – чем мельче капли воды, тем выше температура. Величина горизонтального участка ВС на графике зависит от содержания воды в мазуте: чем больше воды, тем длиннее участок. Ниспадающий участок CD соответствует состоянию мазута во время его остывания после процесса выпаривания.

Для нагрева содержимого испарительной цистерны требуется значительная энергия, так как необходимо нагревать большой объем мазута до высокой температуры (порядка 170 °С) и поддерживать данную температуру достаточно длительное время. При этом будут иметь место большие тепловые потери с поверхности емкости с подогреваемым мазутом, так как подогревается емкость значительных размеров, и подогрев продолжается достаточно длительное время. Причем тепловые потери имеются во время нагрева (на рис.1 это соответствует участку АВ), на этапе самого процесса выпаривания (участок ВС) и во время остывания после окончания процесса выпаривания (CD). Таким образом, при применении метода выпаривания значительная часть теплоты, подводимой к нагреваемой емкости, теряется.

На рис. 2 и рис. 3 показаны типовые устройства, применяемые для выпаривания мазута.



Рис.2 Простейшее устройство для обезвоживания мазута.



Рис.3 Промышленное устройство для обезвоживания мазута

Для повышения эффективности обезвоживания мазута предлагается нагревать порцию обводненного мазута в закрытой емкости до температуры выше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  с последующей ее разгерметизацией [6]. Существо данного подхода заключается в следующем (см. рис. 4).

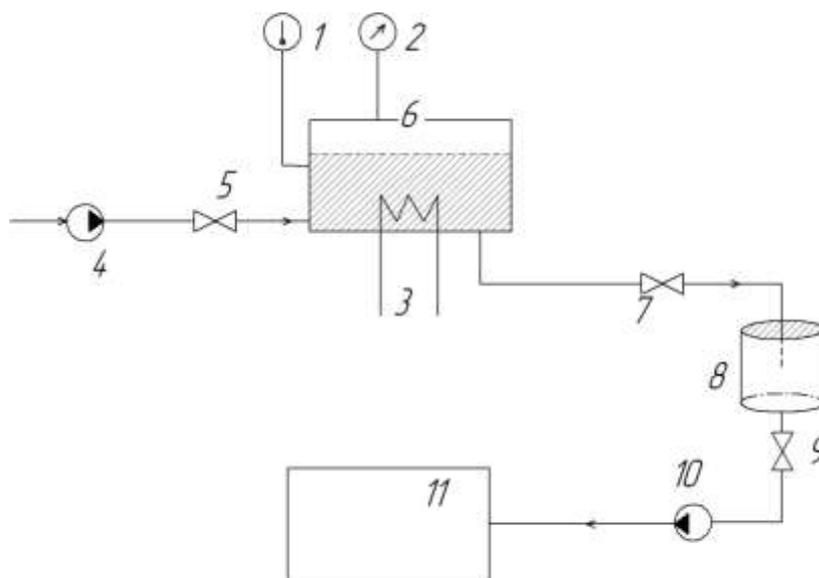


Рис. 4 Схема обезвоживания мазута на основе перегрева воды в его составе: 1 – термометр, 2 – манометр, 3 – подогреватель, 4 – насос подачи обводненного мазута, 5, 7, 9 – клапаны, 6 - подогреватель мазута, 8 – расширитель, 10 – откачивающий насос, 11 – цистерна обезвоженного мазута

Порция обводненного мазута из хранилища подается в подогреватель мазута 6, представляющий собой герметично закрытую емкость. Здесь производится ее подогрев под давлением до температуры  $t$ , которая выше температуры кипения воды при нормальных условиях ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Затем производится сброс содержимого нагревателя мазута в расширитель. В расширителе поддерживается давление близкое к атмосферному, поэтому вода, находящаяся в составе обводненного мазута, поступающего в расширитель, оказывается перегретой на величину  $\Delta t = t - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплота, соответствующая перегреву воды

относительно температуры ее кипения при нормальных условиях, практически мгновенно идет на испарение части воды в составе обводненного мазута [6, 7].

Кроме того, поскольку температура обводненного мазута выше температуры кипения воды на величину перегрева  $\Delta t = t - 100$  °С, то после сброса обводненного мазута в расширитель будет происходить передача теплоты от мазута к воде. Этот процесс передачи теплоты будет продолжаться до охлаждения мазута до температуры 100 °С. Поскольку вода в расширителе находится при давлении близком к атмосферному и в кипящем состоянии, то практически вся подводимая от охлаждаемого мазута теплота идет на дальнейшее испарение воды из состава обводненного мазута. Очевидно, что чем выше величина перегрева обводненного мазута  $\Delta t = t - 100$  °С, тем большее количество воды испарится. После охлаждения содержимого расширителя до температуры ниже 100 °С испарение воды из мазута прекращается, и его содержимое выдвигается в цистерну обезвоженного мазута. Степень обезвоживания мазута зависит от температуры, до которой нагревается обводненный мазут в нагревателе. Таким образом, требуемую степень обезвоживания мазута можно обеспечить путем подбора этой температуры.

Рассмотренные выше процессы обеспечивают обезвоживание мазута. При этом способе обезвоживания нет необходимости в мощном источнике теплоты, так как осуществляется подогрев не всего содержимого резервуара обводненного мазута, а только небольшой его части, порционно. Также будут меньше тепловые потери с поверхности подогревателя, так как его размеры существенно меньше размеров резервуаров для хранения мазута. На рис. 5 показан примерный характер изменения температуры мазута во время рассмотренной выше операции.

Как видно из рис. 5 здесь отсутствует горизонтальный участок, так как нет самого процесса выпаривания, кроме того, на участке спада температуры до 100 °С, значительная часть энергии, выделявшейся при остывания мазута, не рассеивается в окружающее пространство, а идет на процесс испарения воды из состава мазута. Все это ведет к повышению эффективности обезвоживания мазута.

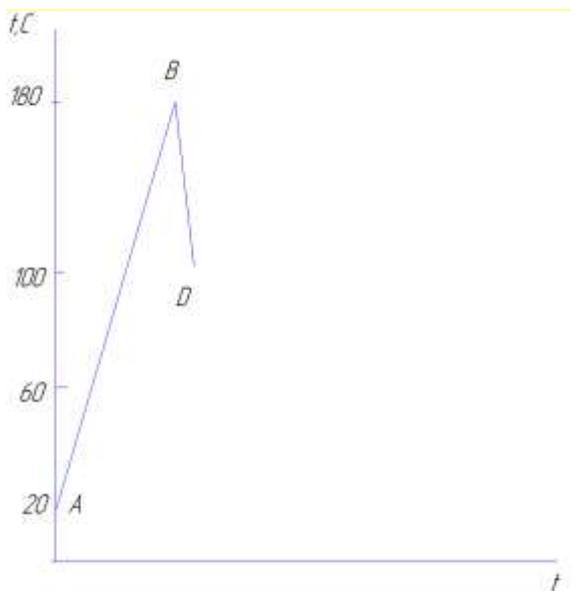


Рис. 5 Изменение температуры мазута во времени при применении метода перегрева

Проведем количественную оценку возможности обезвоживания мазута путем перегрева, содержащейся в нем воды.

Пусть обводненный мазут нагревается под давлением до некоторой температуры  $t$ , превышающей температуру кипения воды при нормальных условиях, то есть 100 °С. При этом вода, находящаяся в составе обводненного мазута, будет находиться в состоянии перегрева с величиной перегрева

$$\Delta t = t - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При разгерметизации сосуда, давление в нем резко падает до атмосферного и из обводненного мазута выделяется теплота в количестве

$$\Delta Q_{\text{пер}} = \Delta Q_{\text{пер.В}} + \Delta Q_{\text{пер.М}},$$

где  $Q_{\text{пер.В}}$  – количество теплоты, которое выделится при переходе воды из состояния перегрева с температурой  $t_{\text{пер}}$  в состояние, соответствующее температуре  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{\text{пер.М}}$  – количество теплоты, которое выделится при остывании мазута до температуры  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При этом

$$\Delta Q_{\text{пер.В}} = c_{\text{в}} M_{\text{в}} \Delta t_{\text{пер}} \quad (1)$$

и данное количество теплоты вследствие взрывного вскипания воды выделится практически мгновенно.

Для мазута

$$\Delta Q_{\text{пер.М}} = c_{\text{м}} M_{\text{м}} \Delta t_{\text{пер}} \quad (2)$$

причем это количество мазута выделяется по мере охлаждения мазута постепенно, то есть здесь отсутствует взрывной характер выделения энергии, как у воды в составе мазута.

$$\Delta Q_{\text{пер}} = (c_{\text{в}} M_{\text{в}} + c_{\text{м}} M_{\text{м}}) \Delta t_{\text{пер}} \quad (3)$$

Выделившаяся теплота из обводненного мазута при разгерметизации сосуда идет на испарение воды из состава мазута. При отсутствии тепловых потерь масса испарившейся воды из состава мазута

$$M_{\text{исп}} = Q_{\text{пер}} / r. \quad (4)$$

Выражения (1)-(4) в первом приближении представляют собой линейные функции от величины перегрева.

На рис. 6 приведены зависимости массы воды, которая может быть превращена в пар, от величины перегрева обводненного мазута для разной степени его обводненности.

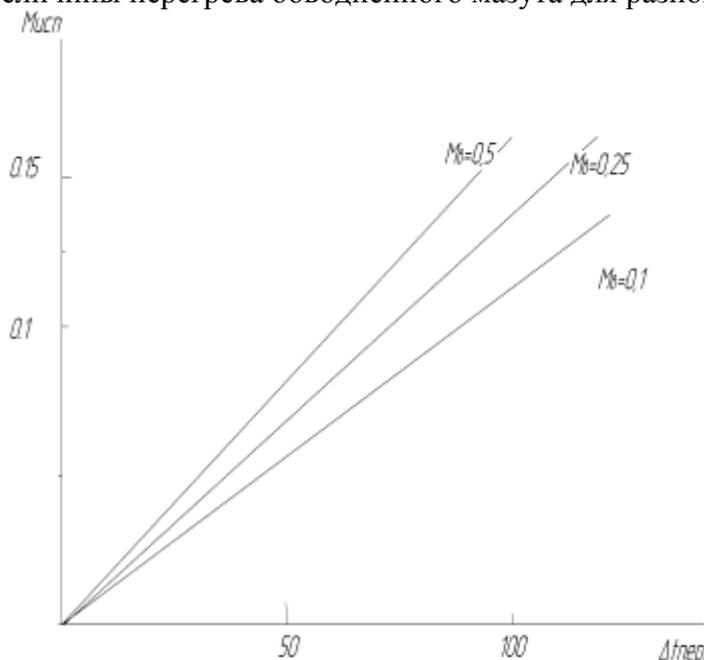


Рис. 6 Зависимость массы испарившейся воды от величины перегрева при разной степени обводненности мазута

Как следует из рис. 6 масса воды, удаленной из состава мазута, для данного метода весьма существенно зависит от величины перегрева воды и от степени обводненности мазута. Так, например, для мазута с обводненностью 10% при перегреве на  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  количество выделившейся теплоты даже больше, чем ее требуется для испарения всей воды. Однако при перегреве на  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  теплоты достаточно только для удаления из мазута чуть больше половины содержащейся воды. Для мазута с обводненностью 50% при перегреве на  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  количество отделившейся воды не превышает одной трети от ее содержания в

мазуте. Поэтому для полного обезвоживания мазута с данным содержанием воды необходимо цикл обработки повторить трижды.

Таким образом, для обезвоживания мазута на основе рис. 6 можно выбирать величину перегрева и число циклов перегрева в зависимости от степени обводненности мазута.

#### Выводы

1. В составе мазутов содержание воды может достигать до 30-50%, что существенно превышает требования ГОСТ 10585-99, согласно которым содержание воды в мазуте должно быть не более 1%. Причем вода в мазуте может концентрироваться как в больших, так и в мелких глобулах.

2. Наиболее часто для отделения мазута от воды применяется метод выпаривания воды. При этом для удаления воды, находящейся в мелкодисперсионном состоянии греть мазут необходимо до температуры порядка 170 °С и поддерживать данную температуру достаточно длительное время.

3. При применении метода выпаривания часть теплоты, подводимой к нагреваемой емкости, идет на ее рассеивание: при нагреве, остывании мазута и поддержании заданной температуры в резервуаре, то есть процесс выпаривания сопровождается большими тепловыми потерями.

4. Для повышения эффективности обезвоживания мазута предлагается нагревать порцию обводненного мазута в закрытой емкости до температуры выше 100 °С с последующей ее разгерметизацией. Здесь обезвоживание мазута осуществляется за счет теплоты перегрева содержащейся в нем воды, а также теплоты, выделяющейся при остывании мазута до 100 °С.

5. В предлагаемом подходе к обезвоживанию мазута нет необходимости в мощном источнике теплоты, так как осуществляется подогрев не всего содержимого резервуара обводненного мазута, а только небольшой его части. Кроме того, уменьшаются тепловые потери в окружающую среду с поверхности подогревателя, так как его размеры существенно меньше, чем резервуар обводненного мазута. Кроме того, здесь используется теплота, выделившаяся при остывании мазута до 100 °С. Эта теплота ранее безвозвратно терялась.

6. Масса воды, удаленной из мазута, для данного метода весьма существенно зависит от величины перегрева воды, а также от степени обводненности мазута. Так, например, для мазута с обводненностью 10% при перегреве на 100 °С количество выделившейся энергии даже больше, чем ее требуется для испарения всей воды в составе мазута. Однако при перегреве на 50 °С теплоты хватит только на удаление из мазута чуть больше половины содержащейся в нем воды. Для мазута с обводненностью 50% при перегреве на 100 °С количество отделившейся при перегреве воды не превышает одной трети от ее содержания в мазуте. Обоснован подход для выбора величины перегрева и числа циклов перегрева в зависимости от степени обводненности мазута.

#### Список литературы:

1. Евдокимов А.А. Краткий анализ методов и средств обезвоживания вязких нефтепродуктов // Экология и промышленность России. – М.: Изд. ЗАО «Калвис». – 2010, № 3, с. 20-23.
2. Евдокимов А.А. Обводнённые нефтеотходы – значительный энергетический ресурс России. // Экология и промышленность России. – М.: Изд. ЗАО «Калвис». – 2012, ноябрь, с. 19-21.
3. Правила технической эксплуатации нефтебаз. М, Недра, 1986.
4. Устройство для обезвоживания мазутного шлама. Патент на изобретение №2122564 / Кузьминов В.М., Колодяжный В.Г., Низьев О.Г., Юдин В.И., Руденко А.И., Вишневский И.Я.// Заявл. 97114996/25, от 02.09.1997.

5. Клыков М.В., Алушкина Т.В., Абросимова М.О. Термическое обезвоживание мазута // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №2. С.266-280. Режим доступа: [http://ogbus.ru/issues/2\\_2015/ogbus\\_2\\_2015\\_p266-280\\_KlykovMV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/2_2015/ogbus_2_2015_p266-280_KlykovMV_ru.pdf)
6. Сепаратор мазута. Патент на полезную модель №179475 / Чичурин А.Г., Шураев О.П., Жидков А.В. // Россия, МПК F22В 31/00 (2006.01), F22В 33/00 (2006.01) - Заявка № 2018100862. Заявл. 10.01.2018; Опубл. 18.07.2019, Бюл. №20.
7. Павленко А.М., Климов Р.А. Особенности вскипания капель дисперсной фазы эмульсий при изменении температуры несущей среды // Журнал «Металлургия, теплотехника», вып. 2(17), 2010, с. 149 - 156.

## **ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF DEWATERING FUEL OIL BY OVERHEATING THE WATER CONTAINED IN IT**

Alexandr G. Chichurin, Oleg P. Shurayev

*One of the ways of dewatering fuel oil is considered. A new technical solution is proposed for this method. Estimates showing the feasibility of the proposal are provided.*

*Keywords: flooding of the residual oil, dehydration of oil, evaporation, overheating.*