

УДК 629.5.06

Чичурин Александр Геннадьевич¹, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, к.т.н, доцент
e-mail: alex1.chich@yandex.ru

Шураев Олег Петрович¹, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, к.т.н, доцент
e-mail: solwrk@inbox.ru

Горбунов Вячеслав Сергеевич¹, аспирант
e-mail: slava.prepod@yandex.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СУДОВОГО НЕФТЕШЛАМА

Аннотация. Рассмотрены процессы, происходящие с водой и нефтепродуктами при нагревании нефтешлама. Выполнен разработка состава и структуры установки для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама. Результаты исследований предполагается использовать для выработки рекомендаций по повышению эффективности процесса выпаривания воды из состава нефтешлама на судах.

Ключевые слова: обезвоживание нефтешлама, процесс кипения воды, изменение температуры нефтешлама при нагревании

Введение. При эксплуатации морского судна иногда приходится решать задачу обезвоживания нефтешлама (НФШ), например, в процессе его приготовления для сжигания в инсинераторе, а также при переполнении шламовых цистерн и перед сдачей на специальные суда или береговые приемники, с целью уменьшения его объема.

Один из распространенных методов обезвоживания НФШ - это их выпаривание [1, 2]. Применяемые в настоящее время устройства выпаривания недостаточно эффективны. Одна из причин этого - отсутствие дешевых и простых в эксплуатации приборов, и методик для оперативного контроля наличия воды в составе НФШ [2, 3].

Целью работы разработка состава и структуры установки для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама. Результаты исследований предполагается использовать для выработки рекомендаций по повышению эффективности процесса выпаривания НФШ на судах.

Процессы в НФШ при нагревании. Рассмотрим процессы, происходящие в НФШ, связанные с водой и нефтепродуктами при его нагревании.

Судовой нефтешлам (НФШ) появляется на судне в процессе эксплуатации судовых двигателей, механизмов и систем. Он представляет собой смесь практически всех нефтепродуктов, применяемых на судне (различных сортов жидкого топлива, моторных масел, твердых примесей органического и минерального происхождения) и воды. В его состав входят отработавшее масло, отходы от сепарации топлива и масла, отстаивания топлива и другие загрязненные нефтепродукты, полученные при чистки фильтрующих элементов, промывке цистерн и т.п. В целом НФШ представляет собой обводненный нефтепродукт [4, 5].

Вода в составе НФШ может находиться в растворенном, эмульгированном, связанном и в свободном состоянии. Причем основной объем воды в НФШ, как правило, приходится на воду в свободном состоянии [2, 4, 5]. При этом образующиеся эмульсии весьма устойчивы. Это обусловлено тем, что с одной стороны в НФШ присутствуют эмульгаторы, а с другой стороны, составляющие НФШ в шламовой цистерне и еще до попадания в нее подвергаются длительному перемешиванию при качке, неоднократным перекачиванием насосами и т.д., что ведет к появлению мелкодисперсной эмульсии. Как известно мелкие частицы воды (величиной порядка единиц мкм) положительно сказываются на процессе сгорания нефтепродуктов, в том числе и НФШ, поэтому в процессе обезвоживания желателен сохранить эту мелкодисперсную воду. А это, в свою очередь, определяет верхнюю границу нагрева НФШ – его температура не может превышать температуру кипения этой воды. Так, например, при атмосферном давлении для капли воды радиусом 1 мкм давление в ней будет около 2.2 бара, а этому давлению соответствует температура насыщения 123,3 °С. То есть, НФШ нецелесообразно нагревать выше 120 – 123 °С.

Кроме воды в НФШ также находятся в небольшом количестве растворенные легкие нефтепродукты.

Проведен анализ свойств, проявляемых НФП и водой в процессе их нагревания по отдельности и вместе.

Текущая температура при нагреве некоторой среды массой m определяется зависимостью

$$t = t_0 + \frac{W \cdot \tau}{m \cdot c},$$

где W - мощность, подводимая к сосуду, кВт; τ – продолжительность нагрева, с; c – удельная теплоемкость среды, кДж/(кг·К); t_0 – начальная температура, °С.

Если принять, что мощность W постоянна и полностью идет на нагрев среды, то текущая температура содержимого нагреваемого сосуда есть функция от времени его нагревания. Вместе с тем характер поведения данной кривой зависит от изменения теплоемкости содержимого сосуда в зависимости от температуры.

Если нагреваемой средой является только вода, то на графике изменения температуры воды в зависимости от времени можно выделить два характерных участка (рисунок 1): один соответствует процессу нагревания воды от некоторой исходной температуры до температуры кипения. Так как в данных пределах изменения температуры масса воды не меняется, а теплоемкость меняется незначительно, то этот участок имеет возрастающий и практически линейный характер. Учитывая значительную величину удельной теплоты парообразования логично предположить, что при нагреве НФШ на возрастающем участке будет испаряться растворенная в НФП вода и связанная вода.

Другой участок на рисунке 1 соответствует кипению воды. Здесь вся подводимая теплота будет идти на испарение воды и продолжительность горизонтального участка пропорциональна количеству испарившейся воды. При нагреве НФШ на горизонтальном участке будет происходить выпаривание свободной воды. Кроме того, при кипении свободной воды пузырьки пара, лопающиеся на поверхности, производят разбрызгивание частиц НФП и воды, а также обеспечивают отрыв некоторых молекул НФП и унос их вместе с водяным паром. Поэтому в состав устройства выпаривания необходимо ввести отделитель частиц НФП и воды, а также анализатор состава газов, образующихся при выпаривании воды.



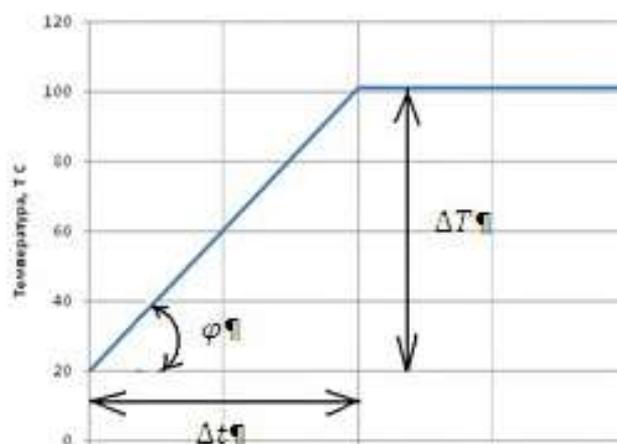


Рисунок 1 - Изменение температуры воды в зависимости от времени в процессе нагрева

Как показано выше температура, до которой целесообразно обводненный НФШ, не должна превышать 120 – 123 °С. Практически все НФП, которые могут входить в состав НФШ, при таком повышении температуры незначительно меняют свои теплотехнические характеристики. Для некоторых нефтепродуктов ниже в таблице приведены ряд их параметров.

Таблица

Физические свойства фракций нефти при атмосферном давлении

Наименование фракции	Температура кипения, °С	Средняя плотность, кг/м ³	Цвет	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К) при температуре от 20 до 100 °С
Бензиновая	100-150	760	Светло-желтый	2.04 – 2.4
Керосиновая	180-315	854	Темно-бурый	1,88-2.24
Дизельная	180-360	840	Темно-желтый	1.84 -2.17
Мазутная	700	890	Черный	1.82-2.09

Если нагреваемой средой будет только обезвоженный НФШ, то в рассматриваемом интервале температур (до 120 – 123 °С) его масса практически не меняется. Конечно, будут испаряться из состава НФП легкие нефтяные НФП, которые там практически всегда имеются в растворенном или связанном состоянии, но их количество ничтожно – счет идет на единицы ppm. Также незначительно меняется и теплоемкость НФП в составе НФШ. Вследствие этого на основе формулы (1) можно сделать вывод о том, что температура в процессе нагрева (в рассматриваемом диапазоне температур) обводненного НФШ будет непрерывно возрастать.

На основе всего выше сказанного, переходя к процессу нагрева обводненного НФШ можно ожидать следующего. В начале при нагреве до температуры порядка 100 °С температура НФШ непрерывно увеличивается, причем характер роста близок к линейному. При достижении температуры порядка 100 °С дальнейшего роста температуры не происходит – здесь вся подводимая теплота идет на испарение воды, находящейся в НФШ в свободном состоянии, а также, по-видимому, на удаление из НФШ растворенной воды в нефтепродуктах и связанной воды. При наличии в составе НФШ свободной воды зависимость температуры НФШ от времени имеет пологий (почти горизонтальный) участок, соответствующий температуре кипения воды в составе НФШ. Величина пологого участка пропорциональна процентному содержанию воды в топливе. После окончания указанных процессов испарения вся подводимая теплота идет на повышение температуры оставшихся нефтепродуктов и эмульгированной в них воды.

Итак, о наличии в НФШ воды и ее количестве можно судить по характеру изменения температуры НФШ при его нагревании. Если при достижении 100 °С температура НФШ с течением времени практически не увеличивается, то это свидетельствует о наличии воды в составе НФШ - идет процесс ее выпаривания. Через некоторое время температура НФШ начинает повышаться – это свидетельствует о том, что практически вся вода из состава НФШ испарилась и в нем осталась только мелкоэмульгированная вода. Величина пологого участка на графике изменения температуры пропорциональна процентному содержанию воды в топливе. Таким образом, температура НФШ в процессе его нагревания является критерием, по которому можно судить о конце процесса обезвоживания и о количестве воды в нефтешламе.

На основе всего выше сказанного разработана схема испытательного стенда для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама, представленная на рисунке 2.

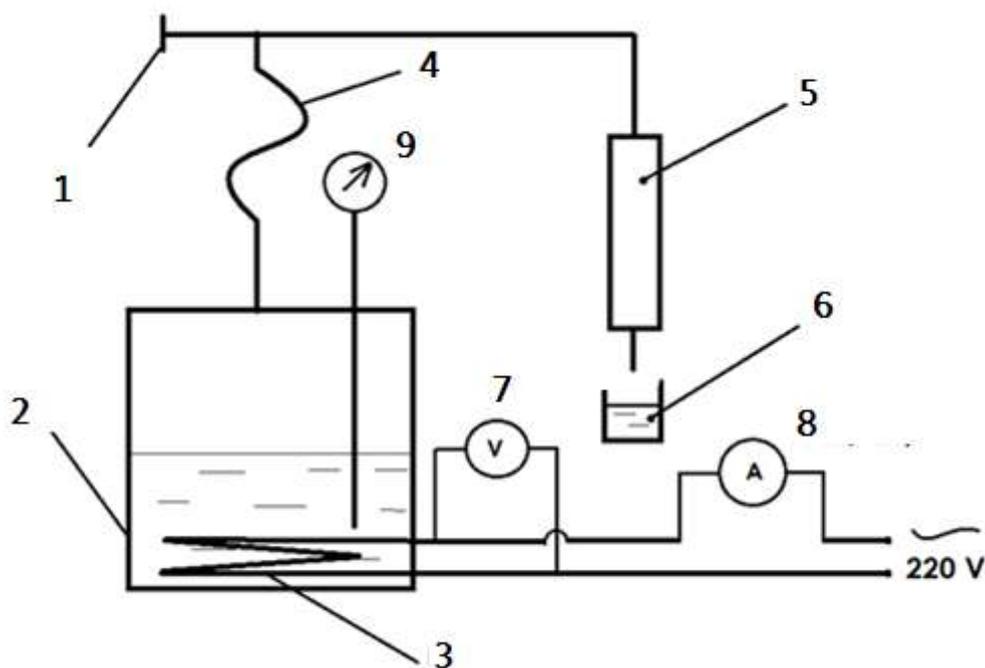


Рисунок 2 - Схема испытательного стенда для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама

Стенд включает в себя следующие элементы:

1 - заглушка, служит для подключения газоанализатора с целью измерения состава продуктов испарения; 2 – сосуд (целесообразна прозрачная емкость из термостойкого стекла), в который заливается НФШ; 3 - нагревательный элемент; 4 – змеевик, служит для удерживания частиц нефтепродуктов и воды; 5 – конденсатор для паров воды и нефтепродуктов; 6 – мерная колба; 7 – вольтметр; 8 – амперметр; 9 – термопара для измерения температуры НФШ.

Кроме того, для проведения испытаний необходимы следующие измерительные приборы:

- секундомер (класс точности 2, допустимая погрешность ± 0.6 сек за 10 мин);
- газоанализатор для измерения состава продуктов испарения;
- фотоаппарат для фотографирования и видеофиксации процессов, происходящих в емкости 2 для выпаривания НФШ;
- тепловизор для измерения распределения температуры в емкости 2 в процессе выпаривания.

Стенд позволяет исследовать процессы при нагреве НФШ различного углеводородного состава нефтепродуктов и обводненности.

Выводы

1. Обоснован состав и структура схемы испытательного стенда для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама. Определены допустимые границы изменения температуры нефтешлама при его нагреве.

2. Обоснован перечень параметров, необходимых для исследования процесса обезвоживания судового нефтешлама и критерии, по которым можно судить о конце процесса обезвоживания и о количестве воды в нефтешламе.

Список литературы:

1. Чичурин А.Г., Шураев О.П. Обезвоживание нефтешлама и мазута // Труды 19-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2018": Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, г. Нижний Новгород, 15–18 мая 2018 года. – Н.Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2018. – EDN IDDPUS.

2. Клыков М.В., Алушкина Т.В., Абросимова М.О. Термическое обезвоживание мазута // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №2. С.266-280. URL: http://ogbus.ru/issues/2_2015/ogbus_2_2015_p266-280_KlykovMV_ru.pdf.

3. Евдокимов А.А. Краткий анализ методов и средств обезвоживания вязких нефтепродуктов // Экология и промышленность России. – М.: Изд. ЗАО «Калвис». – 2010, № 3, с. 20-23.

4. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. - М.: Транспорт, 1979. – 336 с.

5 Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Курс лекций: учебн. пособие для курсантов и студентов морских специальностей. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 159 с.

INSTALLATION FOR THE STUDY OF THE PROCESS OF DEHYDRATION OF MARINE OIL SLUDGE

Alexandr G. Chichurin, Oleg P. Shurayev, Vyacheslav S. Gorbunov

Abstract The processes occurring with water and petroleum products during heating of oil sludge are considered. The composition and structure of the installation for the study of the dewatering process of marine oil sludge has been developed. The results of the research are supposed to be used to develop recommendations for improving the efficiency of the process of evaporation of water from oil sludge on ships.

Keywords: oil sludge dewatering, water boiling process, oil sludge temperature change during heating

