

**УДК 608, 629.12**

## **ОБРАБОТКА СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА СУПЕРКАВИТАЦИИ**

**Осташко Е.А. (ОНМУ, г. Одесса, Украина)**

Тел./Факс: +38 (067) 4810599; E-mail: [a\\_malahov@yahoo.com](mailto:a_malahov@yahoo.com)

**Аннотация.** В статье описана технология обработка судовых льяльных вод на основе процесса суперкавитации. Приведено описание проходного сечения кавитатора полученного на основании выполненных экспериментов.

**Ключевые слова:** кавитация, кавитатор, судовые льяльные воды (СЛВ), каверна, сепарация.

### **1. Введение.**

При работе всех типов судов возникает проблема сбора, хранения и переработки технологических стоков – судовых льяльных вод (СЛВ). Обработка СЛВ, в состав которых в основном входят продукты нефтехимии является одной из самых актуальных. Эта проблема напрямую связана с использованием природных ресурсов и контролем за состоянием экологии и биосферы в планетарном масштабе. Вопросы регенерации отработанных продуктов нефтехимии помимо экологического эффекта приобретают важный экономический аспект поскольку отбор воды из СЛВ позволяет получать вторичные энергоресурсы.

Технология очистки СЛВ напрямую определяется требованиями к величине выходной концентрации нефтепродуктов. В зависимости от этого параметра используются три базовых принципа очистки:

- физический, действуют основные законы гидродинамического поведения многофазной жидкости под действием на нее сил различной природы (гравитации, давления, вибро- или акустических колебаний и т.д.);
- химический, при котором в СЛВ вводятся различные химические реагенты обеспечивающие увеличение степени дисперсности нефтяных частиц с их последующей механической фильтрацией;
- биологический, когда в СЛВ вводятся микроорганизмы, обеспечивающие в ходе своей жизнедеятельности разложение нефтепродуктов.

Анализ сепараторов, работающих с использованием этих принципов очистки показал, что все установки, дающие значение концентрации нефтепродуктов на выходе менее 15 мг/л характеризуются одним общим недостатком – сложностью своей технической компоновки и большими затратами (экономическими, трудовыми, материальными) на текущее обслуживание. В результате, на основании анализа основных реологических свойств СЛВ и известных технологических схем их разделения на компоненты, был сделан вывод о необходимости создания новой технологии очистки СЛВ. Для выделения воды из СЛВ было предложено использовать процесс холодного кипения на основе гидродинамического течения с суперкавитацией.

### **2. Основное содержание и результаты работы**

Согласно результатам многочисленных исследований [1-7] увеличение скорости движения капельной жидкости неизменно приводит к падению давления в ней. В случае движения многокомпонентной жидкости нижней границей величины давления в потоке является максимальное значение давления насыщенного пара  $P_{n.p.}$  каждого из компонента. Когда давление в потоке достигнет величины  $P_{n.p.}$  в жидкости произойдут разрывы (нарушение сплошности) с образованием пузырьков насыщенного пара перв-

вой закипающей компоненты. С ростом скорости такие пузырьки начнут объединяться в цельную кавитационную каверну, которая в случае СЛВ будет наполнена парами только одного компонента - воды. Отбор водяного пара будет неизменно приводить к росту концентрации нефтепродуктов в обрабатываемом объеме СЛВ.

Отбор водяного пара из СЛВ можно описывать законом Герца-Кнудсена-Лэнгмюра [8] согласно которому скорость испарения с внешней границы суперкаверны равна:

$$V_u = \frac{P}{\sqrt{2\pi M k T_u}}, \quad (1)$$

где  $V_u$  – скорость испарения,  $\frac{\text{см}^2}{\text{с}}$ ;  $P$  – давление насыщенных водяных паров,  $\text{Па}$ ;  $M$  –

молекулярный вес частиц пара,  $\text{г/моль}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T_u$  – температура источника,  $^{\circ}\text{C}$ .

Поскольку при движении СЛВ давление внутри кавитационной каверны не превышает величину  $P \leq 10^{-2} \text{ Па}$ , при которой средняя длина свободного пробега молекул воды превышает их характерные размеры, согласно кинетической теории газов и уравнению Герца-Кнудсена, скорость испарения воды из судовых льяльных вод по массе может определяться с помощью уравнения Ленгмюра:

$$V_u = 7,78 \sqrt{\frac{M}{T_u}} P \quad (2)$$

Для описания процесса выделения воды из СЛВ была составлена математическая модель. Для случая нелинейно-вязкой многокомпонентной жидкости она базировалась на уравнениях движения в форме Коши. Записанная система дифференциаль-

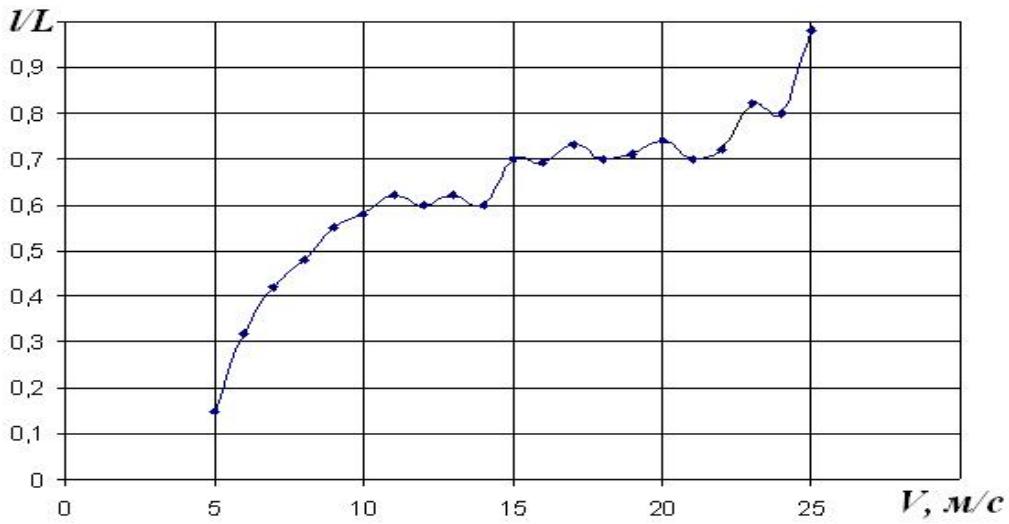


Рис. 1. Изменение длины каверны при росте скорости

ных уравнений соответствовала реологическому закону Рейнера. Решение было получено на основании метода конечных разностей со вторым порядком точности.

В ходе численных экспериментов были получены результаты, описывающие изменение длины каверны в зависимости от скорости потока на входе в рабочую камеру кавитатора. Они показаны на рис. 1.

Наблюдаемый разброс полученных значений в правой части графика можно объяснить размывом границы паровой зоны с основным потоком судовых льяльных вод из-за возникновения вихревой пелены в хвостовой части кавитационной суперкаверны. При проведении численных экспериментов возникла неустойчивость вычислительного процесса в местах прилегания каверны к жестким границам моделируемого объема рабочей камеры кавитатора. Так, начиная со значений скорости потока, равных  $10 \text{ м/с}$  длина каверны  $l$  достигала величины  $60\%$  от общей длины рабочей камеры кавитатора, а дальнейший рост скорости потока

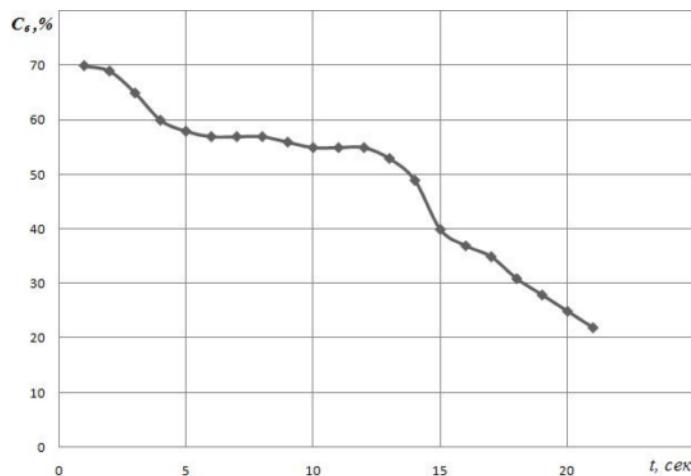


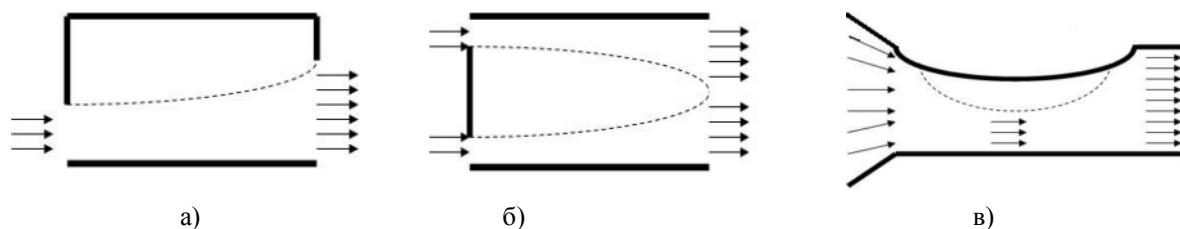
Рис. 2. Изменение концентрации водной компоненты

приводил к дополнительному удлинению только на  $20\%$ .

При проведении расчетов был исследован характер изменения процентного содержания воды при ее отборе из двухфазного потока. Изменение концентрации воды во времени показано на рис. 2.

Анализ графика показывает, что на первой стадии сепарации происходит резкое изменение величины концентрации. Падение кривой, соответствующее первым четырем секундам движения потока соответствует возникновению кавитационной каверны и выходу ее границ на квазистационарное пространственное состояние. Равномерный участок графика соответствует отбору паровой фазы и именно этот участок времени может рассматриваться как основной рабочий режим сепаратора СЛВ. Третий, ниспадающий участок кривой, начиная с 12 секунд реального движения жидкости соответствует остаточному выходу избыточной воды.

Поскольку основным вопросом при создании сепаратора является геометрия рабочей камеры кавитатора, то при проведении физических экспериментов был изучен характер движения потока внутри трех каналов, общие схемы которых представлены на рис. 3. Пунктирными линиями условно отображены границы возникающей суперкаверны.



В ходе экспериментов было установлено, что наибольшая устойчивость каверны получается при установке в кавитаторе разделительных пластин. Кавитационная суперкаверна в этом случае будет образовываться непосредственно за острой кромкой пластины, расположенной на входе в рабочую камеру. В последующем паровой пу-

зырь будет увеличиваться, и достигать выходной пластины уступа, замыкаясь на его верхнюю кромку. Оптимальная степень перекрытия потока на входе и выходе, т.е. геометрические размеры пластин должны быть определены эмпирическим путем.

### **3. Заключение**

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующие выводы:

1. Основным достоинством кавитационной сепарации СЛВ является тот факт, что при вязком течении сложные структурные единицы нефтепродуктов не подвергаются значительным деформациям. Гидродинамическое испарение не изменяет реологические свойства основных компонент судовых льяльных вод.

2. Характер изменения во времени концентрации воды в СЛВ показывает, что на первой стадии сепарации происходит резкое изменение величины концентрации с дальнейшим выходом границ каверны на квазистационарное пространственное состояние.

3. Экспериментальным путем установлено, что наибольшая устойчивость кавитационной каверны получается при установке в рабочем канале разделительных пластин. В этом случае суперкаверна обладает пространственно фиксированным положением.

**Список литературы:** 1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: Пер. с нем. –М.: Наука, 1974. 711 с. 2. Башта Т. М., Руднев С. С. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Изд-во Машиностроение. М. 1982. 423 с. 3. О.М.Яхно, А.Д.Коваль, Л.И.Пищенко, В.П.Паскалов, Н.Н.Яске. Кавитация в переработке нефти. Київ: Світ, 1999. – 263 с. 4. Р.Кнэпп, Дж.Дейли, Ф.Хэммит. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 687 с. 5. И.Т. Егоров, Ю.М. Садовников, И.И. Исаев, М.А. Басин. Искусственная кавитация. – Л.: Изд-во Судостроение, 1971. – 283 с. 6. В.В. Рождественский. Кавитация. –Л.: Изд-во Судостроение, 1977. – 247 с. 7. В.Н. Семененко. Моделирование процессов суперкавитации. Дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. Киев. 2001. 278 с. 8. Г.А.Лукьянов, О.И.Симакова, Н.Ю.Быков. Прямое статистическое моделирование процессов образования и роста кластеров при расширении пара от внезапно включенного мсферического источника. Журнал технической физики, 2008, том.78, вып. 1. с.27-33

### **TREATMENT OF SHIP'S BILGE WATER ON BASES OF SUPERCAVITATION PROCESS**

*Ostashko Y.A. (ONMU, Odessa, Ukraine)*

**Abstract:** This article is about technology of treatment ship's bilge water on bases of supercavitation process. Description was given to pass-through section of cavitator which was discovered by bases of carried out experiments.

**Key words:** Cavitations, cavitator, ship's bilge water, cavity, separation.

### **ОБРОБКА СУДНОВИХ ЛЛЯЛЬНИХ ВОД НА ОСНОВІ ПРОЦЕСУ СУПЕРКАВІТАЦІЇ**

*Ostashko E.O. (ОНМУ, Одеса, Україна)*

**Анотація:** У статті описується технологія обробки суднових лляльних вод на базі процесу суперкавітації. Приведено опис проходного перерізу кавітатора отриманого на основі виконаних експериментів.

**Ключові слова:** кавітація, кавітатор, суднові лляльні води, каверна, сепарація.

Надійшло до редколегії 10.01.2011.