

УДК 629.5.064.3

А.В. МАЛАХОВ, И.В. ТКАЧЕНКО

Одесский национальный морской университет, Украина

ГИДРОДИНАМИКА РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ВОДЫ

Очистка судовых льяльных вод является наиболее глобальной проблемой судоходства. Для решения этой проблемы с каждым годом появляются новые методы очистки. Рассмотрены: основные компоненты, входящие в судовые льяльные воды, факторы процесса разделения льяльных вод в статическом режиме, основные физические факторы. Проведен математический анализ главных компонентов судовых льяльных вод. Показан процесс создания суперкаверны в кавитаторе и испарения воды при движении судовых льяльных вод через кавитатор.

Ключевые слова: судовые льяльные воды, кавитация, гидродинамика потока, математический анализ.

В настоящее время судовые льяльные воды являются наиболее многотоннажным отходом судоходства. Выброс плохо очищенных льяльных вод за борт, море, может привести к загрязнению экологии моря и потере ценных морских компонентов. Сепарация таких вод, в состав которых в основном входят продукты нефтехимии, является одной из самых актуальных.

В состав судовых льяльных вод входят смесь большого набора различных жидкостей, включающих в себя по своему составу различные химические элементы, а также органические и неорганические добавки, которые могут обладать токсичными свойствами. Составляющими судовых льяльных вод являются нефть и ее тяжелые продукты. В общем случае данные компоненты представляют собой раствор высокомолекулярных соединений в низкомолекулярных. В смеси с водой они представляют собой обычную дисперсную систему. Отметим, что при проведении анализа нефтяных составных компонентов судовых льяльных вод они могут существенно отличаться по своим основным физическим свойствам. При этом все примеси, которые содержатся в судовых льяльных водах, можно разделить на четыре группы:

1 группа – все взвеси в виде тондисперсных суспензий и эмульсий;

2 группа – коллоиды и высокомолекулярные соединения;

3 группа – газы, а также растворенные в воде органические вещества;

4 группа состоит из солей, кислот и оснований.

В процессе разделения судовых льяльных вод в статическом режиме на составляющие оказывает влияние много факторов – размеры частиц, их механизм взаимодействия между собой, концентрация, физико-химические свойства внешней и рассматри-

ваемой сред и т.д. В такой дисперсной системе как судовые льяльные воды диссипация энергии, которая вызывается сопротивлением сил вязкостного происхождения, обычно расходуется по следующим трем направлениям:

– вязкость, которая проявляется в дисперсной среде;

– взаимодействие движущейся дисперсионной среды с взвешенными частицами;

– структурные изменения, которые вызываются взаимодействием частиц дисперсной фазы.

При рассмотрении основных физических факторов, к ним можно отнести плотность каждой компоненты, а также ее давление и температуру. В случае изотермического процесса (подразумевается любое, но неизменное значение температуры льяльных вод) изменение давления в потоке по высоте описывается известным интегралом

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz). \quad (1)$$

Из соотношения (1) видно, что чем выше плотность льяльных вод, тем медленнее происходит седиментация, а при больших значениях плотности расслоение может стать практически невозможным. При этом плотность судовых льяльных вод будет определяться как

$$\rho_{л.в.} = \sum_{i=1}^n \rho_{Ti} \cdot m_{Ti} + \rho_B m_B, \quad (2)$$

где ρ_B и ρ_{Ti} – соответственно плотность воды и i -й топливной компоненты судовых льяльных вод; m_B и m_{Ti} – соответственно массовая доля воды и i -й топливной компоненты в общем объеме судовых льяльных вод.

Проведенный анализ главных компонентов судовых льяльных вод, их основных реологических

свойств, а также методов и устройств, применяемых для их хранения, транспортировки и переработки, показал необходимость разработки принципиально новой технологии по их отделению от основной водной компоненты. При этом необходимо отметить, что введение в технологический процесс отделения воды от нефтесодержащих остатков дополнительных механических узлов сепарации потока будет приводить только к усложнению уже используемых технологических схем. В этом случае целесообразно использовать принципиально новое техническое решение рассматриваемой проблемы. Одним из вариантов подобного подхода может являться использование и управление основными гидромеханическими характеристиками движущейся среды. В данном случае предусматривается использование эффекта холодного кипения жидкости за счет использования гидромеханического процесса суперкавитации внутри специально спрофилированной рабочей камеры, являющейся неотъемлемой частью судовой системы сепарации. При таком техническом решении характер поведения перерабатываемого потока судовых льяльных вод будет всегда напрямую определяться исключительно условиями его движения внутри кавитационной камеры.

Применительно к судовым льяльным водам для двух компонент – ньютоновской и неньютоновской соответствующие реологические законы для трехмерного движения могут быть записаны в следующем виде:

– водная компонента:

$$\tau_{xx} = -p + 2\mu \frac{dV_x}{dx} + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \vec{V}, \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{dV_x}{dy} + \frac{dV_y}{dx} \right), \quad (4)$$

$$\tau_{yy} = -p + 2\mu \frac{dV_y}{dy} + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \vec{V}, \quad (5)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{dV_x}{dz} + \frac{dV_z}{dx} \right), \quad (6)$$

$$\tau_{zz} = -p + 2\mu \frac{dV_z}{dz} + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \vec{V}, \quad (7)$$

$$\tau_{zy} = \tau_{yz} = \mu \left(\frac{dV_z}{dy} + \frac{dV_y}{dz} \right), \quad (8)$$

где p – гидродинамическое давление;

– высокопластичная (нефтесодержащая) компонента:

$$\tau_{xx} = -p + 2 \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \frac{dV_x}{dx} - \frac{2}{3} \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \operatorname{div} \vec{V}, \quad (9)$$

$$\tau_{yy} = -p + 2 \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \frac{dV_y}{dy} - \frac{2}{3} \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \operatorname{div} \vec{V}, \quad (10)$$

$$\tau_{zz} = -p + 2 \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \frac{dV_z}{dz} - \frac{2}{3} \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \operatorname{div} \vec{V}, \quad (11)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \left(\frac{dV_x}{dy} + \frac{dV_y}{dx} \right), \quad (12)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \left(\frac{dV_x}{dz} + \frac{dV_z}{dx} \right), \quad (13)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \left(\mu + \frac{\tau_0}{H} \right) \left(\frac{dV_z}{dy} + \frac{dV_y}{dz} \right), \quad (14)$$

где τ_0 – предел текучести; H определяется как

$$H = \left[\left(\frac{dV_x}{dy} + \frac{dV_y}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dV_x}{dz} + \frac{dV_z}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dV_y}{dz} + \frac{dV_z}{dy} \right)^2 + 2 \left(\frac{dV_x}{dx} \right)^2 + 2 \left(\frac{dV_y}{dy} \right)^2 + 2 \left(\frac{dV_z}{dz} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (15)$$

Более полным является подход, основывающийся на представлении многокомпонентной смеси льяльных вод как жидкости Рейнера, т.е. жидкости, у которой продольная вязкость определяется на основании степенного реологического закона. В данном случае уравнения ее состояния имеют вид:

$$\tau_{xx} = -p + 2KH_1^{\frac{n-1}{2}} \frac{dV_x}{dx} + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \frac{dV_i}{dx} \frac{dV_x}{di}, \quad (16)$$

$$\tau_{yy} = -p + 2KH_1^{\frac{n-1}{2}} \frac{dV_y}{dy} + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \frac{dV_i}{dy} \frac{dV_y}{di}, \quad (17)$$

$$\tau_{zz} = -p + 2KH_1^{\frac{n-1}{2}} \frac{dV_z}{dz} + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \frac{dV_i}{dz} \frac{dV_z}{di}, \quad (18)$$

$$\tau_{xy} = KH_2^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{dV_x}{dy} + \frac{dV_y}{dx} \right) + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{dV_x}{di} + \frac{dV_i}{dx} \right) \left(\frac{dV_y}{di} + \frac{dV_i}{dy} \right), \quad (19)$$

$$\tau_{xz} = KH_2^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{dV_x}{dz} + \frac{dV_z}{dx} \right) + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{dV_x}{di} + \frac{dV_i}{dx} \right) \left(\frac{dV_z}{di} + \frac{dV_i}{dz} \right), \quad (20)$$

$$\tau_{yz} = KH_2^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{dV_y}{dz} + \frac{dV_z}{dy} \right) + 4\eta \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{dV_x}{di} + \frac{dV_i}{dx} \right) \left(\frac{dV_z}{di} + \frac{dV_i}{dz} \right), \quad (21)$$

где K – консистентная постоянная; n – индекс течения ($n < 1$ – псевдопластичная жидкость, $n > 1$ – дилатантная жидкость, $n = 1$ – ньютоновская жидкость), η – поперечная вязкость.

Базируясь на исходных уравнениях движения в форме Коши, возможно записать систему дифференциальных уравнений, которые будут соответствовать определенному реологическому закону, на-

пример, Рейнера. Для случая нелинейно-вязких жидкостей, к которым можно отнести и судовые льяльные воды, такая система может быть описана уравнениями:

$$\rho \frac{dV_x}{dt} = -\frac{dp}{dx} + \rho a_x + K \left[J^{\frac{n-1}{2}} \nabla^2 V_x + 2 \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial y} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial z} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) \right] +$$

$$+ 4\eta \left[\frac{\partial}{\partial x} \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial V_x}{\partial i} \frac{\partial V_i}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_x}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial x} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial i} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_x}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial x} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial i} \right) \right];$$

$$\rho \frac{dV_y}{dt} = -\frac{dp}{dy} + \rho a_y + K \left[J^{\frac{n-1}{2}} \nabla^2 V_y + 2 \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial y} + 2 \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial x} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial z} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) \right] +$$

$$+ 4\eta \left[\frac{\partial}{\partial y} \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial V_y}{\partial i} \frac{\partial V_i}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_x}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial x} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial i} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_y}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial y} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial i} \right) \right];$$

$$\rho \frac{dV_z}{dt} = -\frac{dp}{dz} + \rho a_z + K \left[J^{\frac{n-1}{2}} \nabla^2 V_z + 2 \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial z} \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial y} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial \left(J^{\frac{n-1}{2}} \right)}{\partial x} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) \right] +$$

$$+ 4\eta \left[\frac{\partial}{\partial z} \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial V_z}{\partial i} \frac{\partial V_i}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_z}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial z} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial i} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial V_x}{\partial i} + \frac{\partial V_i}{\partial x} \right) \times \left(\frac{\partial V_i}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial i} \right) \right];$$

в выражениях (22) – (24) параметр J записывается как

$$J^2 = 2 \left[\left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2 \right] +$$

$$+ \left[\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right]^2 + \left[\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right]^2. \quad (25)$$

Если использовать модель судовых льяльных вод как многофазную смесь высокопластичных вязких жидкостей, то в этом случае для ее моделирования в численных экспериментах можно использовать приведенные ниже уравнения (26) – (28):

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} = a_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\mu + \frac{\tau}{H} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} + \frac{1}{3} \frac{\partial \Omega}{\partial x} \right) - \frac{\tau}{\rho H^2} \times$$

$$\times \left[2 \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial H}{\partial z} \left(\frac{\partial V_z}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \Omega \frac{\partial H}{\partial x} \right], \quad (26)$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} = a_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\mu + \frac{\tau}{H} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} + \frac{1}{3} \frac{\partial \Omega}{\partial y} \right) - \frac{\tau}{\rho H^2} \times$$

$$\times \left[2 \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial x} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial H}{\partial z} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \Omega \frac{\partial H}{\partial y} \right], \quad (27)$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial t} = a_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\mu + \frac{\tau}{H} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{3} \frac{\partial \Omega}{\partial z} \right) - \frac{\tau}{\rho H^2} \times$$

$$\times \left[2 \frac{\partial H}{\partial z} \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial H}{\partial y} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} \Omega \frac{\partial H}{\partial z} \right], \quad (28)$$

При записи уравнений (26) – (28) были использованы следующие обозначения: $\Omega = \text{div} \vec{V}$, в левой части уравнений $\left(\frac{\partial V_x}{\partial t}, \frac{\partial V_y}{\partial t}, \frac{\partial V_z}{\partial t} \right)$ – ускорение сил инерции, в правой части уравнений первое слагаемое (a_x, a_y, a_z) – ускорение массовых сил (например, сил тяжести, центробежных или центростремительных сил).

Второе слагаемое $\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \right)$ – ускорение сил давления, а оставшаяся часть правой части уравнений представляет собой ускорение сил вязкого трения.

Процесс испарения жидкости в условиях замкнутого пространства и переменности величины гидродинамического давления обладает рядом особенностей. Если рассматривать процесс флотации, то главной задачей в процессе испарения применительно к неподвижной жидкости является скорость подъема парового пузырька, которая в зависимости от режима движения определяется как:

- ламинарный режим (закон Стокса):

$$V = \frac{d_p^2 (\rho_{ж} - \rho_{п}) g}{18\mu_{ж}} ; \quad (29)$$

- турбулентный режим:

$$V = 0,7 \sqrt{\frac{d_p^2 (\rho_{ж} - \rho_{п}) g}{\mu_{ж}}} , \quad (30)$$

где d_p – диаметр парового пузырька; $\rho_{ж}$, $\rho_{п}$ – плотность жидкости и пара; $\mu_{ж}$ – вязкость жидкости.

При испарении водной компоненты с границ кавитационной полости во внутренний объем, концентрация нефтепродуктов в судовых льяльных водах будет постоянно увеличиваться. Достоинством такого процесса отбора водной компоненты является тот факт, что при вязком течении сложные структурные единицы нефтепродуктов не подвергаются значительным деформациям. Другими словами способ кавитационного испарения при движении потока не будет изменять реологические свойства остальных компонент судовых льяльных вод.

В случае плоского течения с наличием суперкавитационной каверны одна из ее границ была в первом приближении смоделирована в виде горизонтальной плоскости. Такой подход позволил рассматривать задачу о границе взаимодействия каверны с движущимся потоком в постановке задачи о кавитационном обтекании плоской пластины.

Как показали результаты численных расчетов, с ростом расстояния от границы каверны до верхней стенки канала, подъемная сила на внешний контур полости увеличивается, что хорошо видно на рис. 1.

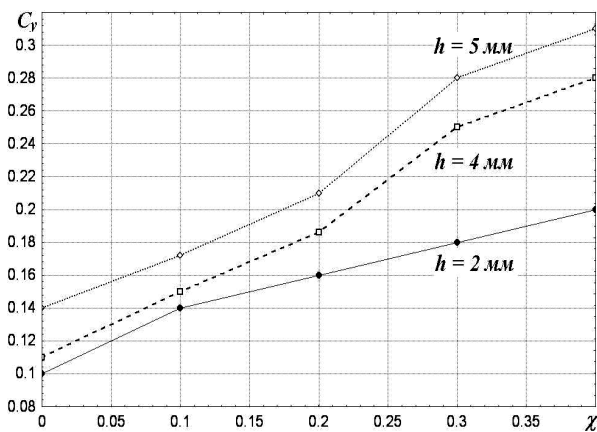


Рис. 1. Зависимость величины C_y от толщины основного потока

При проведении экспериментов был изучен характер движения потока внутри двух каналов, схема которых представлена на рис. 2. Кавитационная суперкаверна в первом случае возникала непосредственно за острой кромкой выступающего конуса. Оптимальная степень перекрытия потока в этом случае определялась эмпирическим путем.

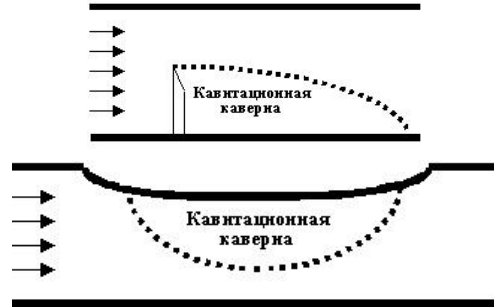


Рис. 2. Формы проходного сечения кавитатора

Во втором случае каверна возникала на вогнутой стенке канала, за счет локального изменения градиента давления по длине. Один из вариантов координатных характеристик верхней стенки такого канала показан на рис. 3. На рисунке нормировка координат производилась на радиус входного канала R и половину длины l вогнутой части. Продольная ось координат совпадает с нижней стенкой, а вертикальная проходит через начало изменения кривизны верхней стенки.

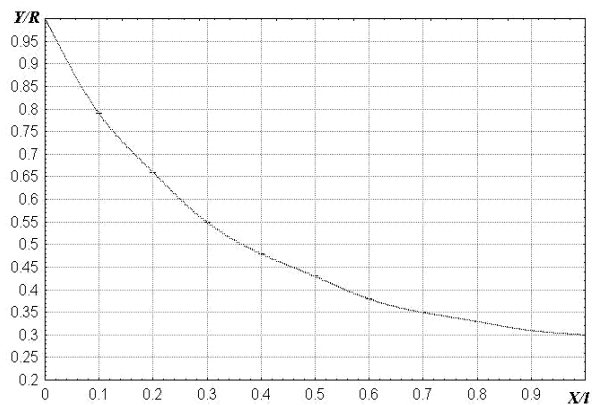


Рис. 3. Координатные характеристики канала

При проведении экспериментов было установлено, что достаточно эффективным способом замыкания каверны является установка в конце каверны вертикальной пластины с высотой, составляющей 24 – 35 % от величины высоты первой пластины. В этом случае каверна не деформируется, но полностью устраняется проблема размывания ее хвостовой части при понижении скорости движения основного потока. Такой эффект в основном достигается за счет изменения условия обтекания кавитационной каверны основным потоком, т.е. за счет перераспределения величины давления вдоль ее поверхности.

Процесс создания искусственной каверны из-за своей сложности теоретическому анализу не поддается. По этой причине был проведен ряд экспериментов по оценке степени влияния величины расхода, точки ввода и направления воздушной струи на стабильность существования свободной границы каверны и ее общие геометрические размеры. В ходе экспериментов было установлено, что оптимальной высотой ввода воздушного потока является диапазон 0,4 – 0,53 от высоты пластины. Оптимальный угол (отсчет идет против часовой стрелки по горизонтали) ввода воздушной струи находится в диапазоне 15 – 24 °. Сам ввод должен осуществляться из внутренней части пластины, которая в последующем находится внутри кавитационной полости.

Полученные данные в ходе экспериментов с вентилируемой каверной позволяют сделать однозначный вывод о том, что искусственная подача воздуха на начальной стадии течения позволяет осуществить переход к суперкавитации на более низких скоростях движения. Также в этом случае внешняя границы кавитационной полости при контакте с движущимся основным потоком ведет себя более устойчиво и обладает четкими границами, без присутствия поперечных вихревых образований.

Принудительная вентиляция каверны фактически может являться одним из способов автоматического управления ее размерами.

С целью интенсификации процесса отделения воды из судовых льяльных вод конструктивная схема кавитационного сепаратора может быть модернизирована за счет использования кассетного принципа водоотделения. В данном случае необходимо предусмотреть установку дополнительного насоса, который включается в схему параллельно и по принципу параллельного подключения установить на линии нагнетания необходимое число дополнительных кавитационных каналов. Расходно-напорная характеристика установки в данном случае должна рассчитываться по принципу параллельного соединения трубопроводов.

Литература

1. Баишта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Баишта, С.С. Руднев и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
2. Пирсалл И.Л. Кавитация / И.Л. Пирсалл. – Лондон: Миллс и Бун Лимитд, 1972. – 93 с.
3. Малахов А.В. Гидромеханика ограниченных потоков / А.В. Малахов. – Одесса: Астропринт, 1999. – 205 с.

Поступила в редакцию 27.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТиПК Ю.Л. Воробьев, Одесский национальный морской университет, Одесса.

ГІДРОДИНАМІКА РОЗДІЛЕННЯ БАГАТОФАЗНИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВОДИ

О.В. Малахов, І.В. Ткаченко

Очищення судових льяльних вод являється найбільшою глобальною проблемою судноплавства. Для вирішення цієї проблеми з кожним роком з'являються нові методи очищення. Розглянуті: основні компоненти, які входять в судові льяльні води, фактори процесу розподілу льяльних вод в статичному режимі, основні фізичні фактори. Проведено математичний аналіз головних компонентів в судових льяльних вод. Показано процес утворення суперкаверни в кавітаторі і випарювання води при русі судових льяльних вод через кавітатор.

Ключові слова: судові льяльні води, кавітація, гідродинаміка потоку, математичний аналіз.

HYDRODYNAMICS OF DIVISION OF MULTIPHASE MIXTURES ON THE BASIS OF WATER

A.V. Malakhov, I.V. Tkachenko

Cleaning of llalns waters of ships is the most global problem of navigation. For the decision of this problem with every year appears new methods of cleaning. Considered: basic components, included in llalns waters of ships, factors of process of division of llalns waters in the static mode, basic physical factors. The mathematical analysis of main components of llalns waters of ships is conducted. The process of creation of supercavity is shown in cavitator and fumes of water at motion of llalns waters of ships through cavitator.

Key words: llalns waters of ships, cavitation, hydrodynamics of stream, mathematical analysis.

Малахов Алексей Владимирович – д-р физ.-мат. наук, проф., Одесский национальный морской университет, Одесса.

Ткаченко Иван Владимирович – аспирант, Одесский национальный морской университет, Одесса.