

4. Сикора Е. Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 226 с.
5. Якобс Г.Ю., Якоб С., Кохан Д. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
6. Дмитриенко В.Д., Хавина И.П. Постановка задачи оптимального управления операцией лезвийной обработки оптических полимеров. “Системи обробки інформації” Збірник наукових праць. Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба. – 2007. Вип. 2 (60). – С. 20 – 22.
7. Литвиненко М. В. Повышение функциональных и эксплуатационных характеристик оптических полистирольных изделий, полученных фрезерованием. Дисс...канд. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 2004. – 178 с.
8. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгедел К. Оптимизация в техники: В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1986. – 349 с.
9. Мудров А. Е. Численные методы на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП “Раско”, 1991. – 272 с.
10. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под ред. Грабченко А.И. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 1999. – С. 195– 197.
11. Вerezub Н.В. Научные основы высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов: – Дисс...д-ра. техн. наук: 05.03.01 – Харьков, 1995. – 300 с.
12. Особенности формирования микрогеометрии крупногабаритных оптических полимеров / Вerezub Н.В., Литвиненко М.В., Мазманишвили А.С., Сенчишин В.Г., Кундрак Я. // Вестник НТУ “КПИ”: Сер. Машиностроение. – Киев. – 2001. – Вып. 41. – С. 38 – 47.
13. Технология производства изделий типа “Tile” / Вerezub Н.В., Литвиненко М.В., Чернышев А.А., Сенчишин В.Г. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2002. – Вып. 63. – С. 9 – 22.

**УДК 629.5.064.3**

**А. В. Малахов, д-р физ.-матем. наук,  
И. В. Ткаченко, В.В.Леонов, С.А.Карьянский  
Одесский национальный морской университет, г.Одесса, Украина**

### **ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СУДОВЫХ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКАХ.**

---

*Дано опис головних принципів технології гідродинамічної очистки судових стічних та льяльних вод. Показано яким чином може бути досягнута повна очистка води від нафтових добавок. Приведені основні фізичні аналоги, щодо суперкавітаційної течії всередині замкнутого каналу, та дано опис головних результатів досліджень.*

*For fluid dynamics technology on bilge or sludge water cleaning there was done description of main principles. It was shown in what way full water purification from oil additions could be achieved. There were presented main physical analogues on supercavitating flows inside restricted channel and had been done description for main results.*

---

При эксплуатации всех типов судов возникает проблема возникновения, сбора, хранения и последующей переработки сточных технологических и льяльных вод (СЛВ). Сепарация таких вод, в состав которых в основном входят продукты нефтехимии является одной из самых актуальных. Эта проблематика 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. Неосмотрительный сброс нефтепродуктов приводит к загрязнению почв и водоемов, а бесконтрольное сжигание приводит к загрязнению воздуха вредными веществами.

На судах СЛВ возникают при работе машинных отделений, в частности при эксплуатации судовых механизмов, и при мойке танков, когда транспортируются нефть или продукты нефтехимии. В случае работы машинного отделения количество СЛВ напрямую определяется техническим состоянием используемого оборудования, соблюдением правил технической эксплуатации и мощностью главного двигателя судовой энергетической установки. При проведении работ по очистке танков объем возникающих СЛВ определяется видом транспортируемого груза, рабочим агентом, используемым для очистки (например, вода, сырая нефть) и гидравлическим качеством (смачиваемостью) поверхности, которая подвергается очистке.

В соответствии с требованиями MARPOL 73/78 [1] (Приложение 1) на каждом судне должны быть установлены устройства очистки СЛВ. В их технологическую схему входят сборные танки, сепараторные установки с выходной концентрацией нефтепродуктов менее 15 мг/л и автоматические клапаны, которые вместе с КИП обеспечивают контроль за качеством сброса очищенной воды. Обычно периодичность замера концентрации нефтепродуктов на линии сброса составляет не более 20 с. Первичная концентрация нефтепродуктов в СЛВ всегда является величиной переменной. Ее эксплуатационный диапазон составляет от 0.1 до 99 %. Достаточно важным фактором является степень дисперсности нефтепродуктов по отношению к водной компоненте смеси.

Необходимо отметить, что граница очистки 15 мг/л является верхним пределом для большей части водного пространства, но в ряде случаев, в так называемых особых районах (Средиземное, Черное, Балтийское, Красное море, Большой Барьерный риф Австралии и т.д.) сброс льяльных вод за борт вне зависимости от степени их очистки вообще запрещен.

Технология очистки СЛВ напрямую определяется требованием к величине выходной концентрации нефтепродуктов. В зависимости от этого параметра используются различные принципы очистки. В ходе анализа всех известных конструкций сепараторов СЛВ была разработана классификация их принципов работы. К базовым принципам эксплуатации относятся следующие:

а) физический. В данном случае используются основные принципы гидродинамического поведения многофазной жидкости под действием на нее сил различной природы. Чаще всего используются силы гравитации, давления, вибро- или акустические колебания.

б) химический. При его использовании за счет введения в поток различных химических реагентов обеспечивается увеличение степени дисперсности нефтяных частиц с их последующей механической фильтрацией. Обычно используется электролиз и озонирование.

в) биологический. Данный принцип работы основан на введении в СЛВ микроорганизмов, которые в ходе своей жизнедеятельности обеспечивают разложение нефтепродуктов.

Типичными составляющими СЛВ являются нефть и ее тяжелые продукты. В общем случае эти компоненты представляют собой раствор высокомолекулярных соединений в низкомолекулярных. В смеси с водой они представляют собой обычную дисперсную систему. При проведении сравнительного анализа нефтяных компонент СЛВ было отмечено, что они могут существенно отличаться по своим основным физическим свойствам. При этом все примеси, содержащиеся в СЛВ можно разделить на четыре группы: 1 группа – взвеси в виде тонкодисперсных суспензий и эмульсий; 2 группа – коллоиды и высокомолекулярные соединения; 3 группа – газы и растворенные в воде органические вещества; 4 группа – соли, кислоты и основания.

Анализ практики эксплуатации судов показывает, что в состав СЛВ кроме водной компоненты могут входить в различных концентрациях следующие продукты: мазуты; водо-масляные эмульсии; сырье для получения технического углерода (асфальтены, смолы, полициклические ароматические углеводороды, парафины, склонные к переходу из стабильного состояния в нестабильное); гудроны; битумы; смазочно-охлаждающие технические средства.

Степень дисперсности нефтепродуктов в льяльных водах варьируется в широком пределе и, рассматривая гидростатическое поведение многофазной жидкости можно констатировать, что хорошо подвергаются плотностной стратификации те нефтепродукты, у которых диаметр капель превышает сотые доли миллиметра. При хранении и отстаивании такие грубодисперстные составляющие занимают верхние слои рассматриваемого объема. Для последующего отделения и переработки наибольший интерес представляют собой тонкодисперсные частицы с диаметром менее 1 мкм. За счет компенсации силы Архимеда силами поверхностного взаимодействия с водой они не всплывают и находятся во взвешенном состоянии, образуя фактически обычную эмульсию. Степень эмульгирования всегда повышается в случае транспортировки льяльных вод, что в основном определяется турбулентными пульсациями движущегося потока и механическим смешением при прохождении через рабочие органы нагнетательного оборудования. При своем движении такие эмульсии подчиняются закону трения жидкости Шведова-Бингама [2] и в диапазоне температур от 50 до 80 °С могут быть отнесены к классу вязкоупругих жидкостей. При дальнейшем повышении температуры в эмульсиях начинают проявляться свойства ньютоновских жидкостей. Согласно данным работы [3] концентрация тонкодисперсной нефтяной составляющей обычно лежит в пределах от 20 до 50 мл на 1 л водной фазы.

В том случае, когда рассматривается неподвижная жидкость применительно к процессу стратификации СЛВ можно применять закон Стокса. Расслоение будет происходить тем быстрее, чем ниже значение вязкости смеси и больше размер частиц водной составляющей. Скорость оседания капель воды (см/с) определяется как

$$V = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_0)}{9\mu}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус капли, см;  $\rho, \rho_0$  – плотность водной и нефтяной фазы, г/см<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – вязкость нефтяной фазы, МПа·с.

На процесс разделения СЛВ в статическом режиме на составляющие оказывает влияние много факторов - концентрация, размеры частиц, механизм их взаимодействия между собой, свойства сред и т.д. В такой дисперсной системе как СЛВ диссипация энергии, вызываемая сопротивлением сил вязкостного происхождения, обычно расходуется по трем направлениям: вязкость, которая проявляется в дисперсной среде; взаимодействие движущейся дисперсионной среды с взвешенными частицами; структурные изменения вызываемые взаимодействием частиц дисперсной фазы.

К основным влияющим физическим факторам следует отнести плотность каждой компоненты, а также ее давление и температуру. В случае изотермического процесса изменение давления в потоке по высоте описывается известным интегралом

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2)$$

Из (1)-(2) видно, что чем выше плотность СЛВ, тем медленнее происходит седиментация, а при больших значениях плотности расслоение может стать невозможным. При этом плотность СЛВ определяется как

$$\rho_{\text{л.в.}} = \sum_{i=1}^n \rho_{Ti} \cdot m_{Ti} + \rho_{\text{в}} m_{\text{в}} \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  и  $\rho_{Ti}$  – соответственно плотность воды и  $i$ -той топливной компоненты судовых льяльных вод;  $m_{\text{в}}$  и  $m_{Ti}$  – соответственно массовая доля воды и  $i$ -той топливной компоненты в общем объеме судовых льяльных вод.

С точки зрения переработки составляющих судовых льяльных вод следует отметить важность температурного диапазона технологического процесса. Данный параметр существенно видоизменяется в зависимости от вида составляющей. Так, например, основные кинематические свойства (касательное напряжение и вязкость) гудронов в диапазоне температур от 0 до 25 °С изменяются практически по линейному закону, а существенно нелинейный характер поведения начинается только с 30 °С.

Проведенный анализ главных компонент судовых льяльных вод, их основных реологических свойств, а также методов и устройств, применяемых для их хранения, транспортировки и переработки указал на необходимость разработки принципиально новой технологии по их отделению от основной водной компоненты. В этом случае целесообразно использовать техническое решение, предусматривающее отделение водной от нефтяных компонент только за счет использования физических свойств и эффектов, проявляющихся при транспортировке сепарируемых СЛВ. В практическом использовании новая технология должна быть простой и задействовать при своем внедрении минимальный набор судового механического оборудования.

Одним из вариантов подобного подхода может являться использование эффекта холодного кипения жидкости за счет процесса суперкавитации внутри специально спрофилированной рабочей камеры, являющейся неотъемлемой частью судовой системы сепарации. При таком техническом решении характер поведения пере-

рабатываемого потока судовых льяльных вод будет всегда напрямую определяться исключительно условиями его движения внутри кавитационной камеры.

Анализ литературных источников показал, что результаты исследований других авторов не могут быть использованы применительно к рассматриваемой задаче по отбору у СЛВ водной компоненты. В большинстве случаев известные данные относятся только к гидродинамическим аспектам явления кавитации, но никак не затрагивают процесс холодного кипения одно- или многофазной жидкости. Выполненный анализ литературы указывает на отсутствие работ, в которых рассмотрены вопросы испарения с поверхности суперкавитирующей каверны в процессе движения жидкости в канале или вблизи обтекаемого тела.

Применительно к рассматриваемой задаче наиболее подходящими являются теоретические исследования, выполненные в работе [4], где даны решения ряда плоских задач, описывающих квазистационарную кавитационную каверну, в частности ее форму при движении в жидкости различных тел. Представленные авторами результаты относятся к случаю однородной идеальной жидкости, что для многофазной неньютоновской жидкости может рассматриваться только как первое приближение.

Как известно увеличение скорости движения капельной жидкости неизменно приводит к падению давления в ней. С физической точки зрения нижней границей величины давления в потоке может выступать величина давления насыщенного пара при данной температуре жидкости. В случае движения многокомпонентной жидкости этот параметр будет соответствовать максимальной величине давления насыщенного пара каждой из компонент. В тот момент, когда давление в потоке достигнет величины  $P_{н.п.}$  в жидкости произойдет разрыв (нарушение сплошности) с образованием в месте разрыва пузырьков насыщенного пара первой закипающей компоненты. С ростом скорости такие пузырьки могут объединяться в цельную кавитационную каверну. В случае плоского потока вязкой жидкости размеры каверны при помощи числа кавитации описываются как: ширина –  $\chi^{-1}$ , а длина –  $\chi^{-2}$ . При более точной оценке размеров каверны в случае судовых льяльных вод необходимо учитывать коэффициент пропорциональности, зависящий от реологических констант. Длина каверны всегда будет увеличиваться с уменьшением числа кавитации  $\chi$ . При росте скорости  $V_\infty$  и падении  $\chi$ , будет иметь место увеличение ширины и длины каверны. При  $\chi > 0$  кавитационная каверна будет всегда иметь конечный размер.

Анализ числа кавитации показывает, что переходе к режиму суперкавитации, т.е. когда  $\chi \rightarrow 0$  движение жидкости вблизи кавитационной каверны, а самое главное процесс формирования такой каверны можно поддерживать двояким образом. Первый путь это повышение скорости основного потока, а второй повышение давления внутри каверны. Повышение давления можно достигнуть путем образования искусственной каверны за счет вдува газа (например воздуха) в двигающуюся жидкость. Характер течения (особенно в головной части каверны) в обоих случаях будет полностью идентичен. Истечение воздуха в двигающийся поток должно происходить непосредственно из плоского выступа. Для преодоления давления набегающего потока скорость истечения газа должна удовлетворять неравенству

$$V_2 > V_{жс} \sqrt{\frac{\rho_{жс}}{\rho_2} (1 + \chi)}, \quad (4)$$

а в случае подачи воздуха (без учета сжимаемости)

$$V_2 > 28,6 \left(1 + \frac{\chi}{2}\right) V_{жс}. \quad (5)$$

Наиболее адекватным процессу движения потока СЛВ с образованием кавитационной каверны является движение вязкой жидкости внутри длинного насадка ( $l/d = 10 - 50$ ). Пример такого течения показан на рисунке 1, где можно увидеть вид эпюры давления внутри насадка с выделенными характерными зонами потока. Возникновение и устойчивость зоны вакуума, полностью идентично возникновению и устойчивому пространственному расположению кавитационной суперкаверны. Основное гидравлическое сопротивление такого течения складывается из трех составляющих: сопротивления входа, сопротивления при расширении струи и сопротивления на гидравлическое трение на участке контакта струи и насадка. В этом случае коэффициенты скорости и расхода рассчитываются как

$$\varphi = \mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta_{вх} + \zeta_{в.р} + \lambda \frac{l}{d}}} \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент неравномерности распределения скорости (диапазон  $\alpha$  составляет от 1 до 2);  $\zeta_{вх}$  – коэффициент сопротивления входа жидкости в насадок (приблизительно оценивается как  $\zeta_{вх} = 25,2/Re$ );  $\zeta_{в.р}$  – коэффициент сопротивления внезапного расширения струи (диапазон  $\zeta_{в.р}$  составляет от 0 до 0,2);  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  $l$  и  $d$  – длина и диаметр насадка.

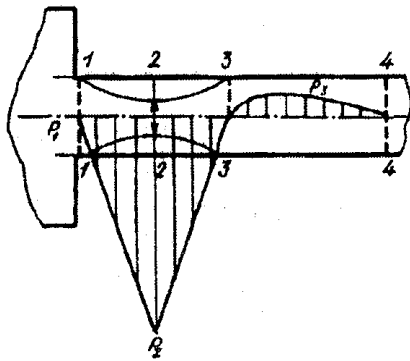


Рис. 1. Схема течения внутри насадка

Предельным случаем, когда при истечении из насадка коэффициент расхода будет идентичен случаю истечения из отверстия (у которого величина коэффициента расхода всегда выше чем у насадка) является трубка у которой длина составляет  $86D$ . В случае течения высоковязких жидкостей коэффициент расхода принимает невысокие значения. Для такой компоненты СЛВ как тяжелая нефть с вязкостью  $\nu = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $d = 15 \text{ мм}$  коэффициент расхода равен  $\mu = 0,35$ .

Согласно данным работы [2] в случае движения через насадок вязких жидкостей (нефть, масла и т.п.) коэффициент расхода в диапазоне чисел Рейнольдса  $100 < Re < 10000$  хорошо аппроксимируется формулой

$$\mu = 0.172 Re^{0.182} \nu_0^{-0.1} \quad (7)$$

где  $\nu_0$  – относительная вязкость жидкости по отношению к воде.

В случае определения величины предельного срыва вакуума, а следовательно в первом приближении и величины нарушения цельности кавитационной каверны можно использовать следующее выражение для предельного напора

$$H_{np} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \frac{P_{амм} - P_t}{2\varphi^2 \gamma} \quad (8)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент стеснения струи на входе в насадок;  $P_t$  – упругость паров при жидкости данной температуре;  $\gamma$  – удельный вес жидкости.

При больших значениях чисел Вебера ( $We > 200$ ) выражение (4) упрощается

$$H_{np} = 1,55 \frac{P_{амм} - P_t}{\gamma} \quad (9)$$

Течение внутри длинного насадка с образованием полости вакуума или замкнутой зоны кавитационной каверны напрямую зависит от закономерностей возникновения, существования и разрушения таких зон. Так, если движение потока происходит с незначительным перепадом давления, т.е. когда  $\Delta P = 0$ , или  $P_2/P_1 \approx 1$  возникающая замкнутая зона кавитации должна сохраняться при равновесии двух противоположных сил, действующих на частицы потока и соответствующих границе зоны в расширяющейся части струи. Те силы, которые действуют вдоль потока, стремятся распределить поток по поперечному сечению более равномерно, и следовательно растягивают кавитационную каверну. Силы, которые вызваны перепадом давлений  $P_2 - P_1$  оказывают противоположное действие – стремятся изменить границу кавитационной полости в сторону расширения потока и сжимают замкнутую кавитационную каверну. В конечном итоге разрушение замкнутой области, которая опирается на стенки трубы происходит только при нарушении равновесия между этими силами на границе каверны.

При определенных кинематических условиях в процессе возрастания перепада давлений, давление в кавитационной каверне достигает определенной минимальной величины, которая в последующем остается неизменной вне зависимости от роста скорости потока. При одностороннем росте скорости размеры кавитационной каверны начинают сильно увеличиваться до тех пор, пока не наступает срыв вакуума внутри нее. Данный механизм существования каверны может быть описан следующим уравнением

$$\frac{P_2}{P_1} = 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N} + \frac{P_{\min}}{P_1} \left[ 1 - 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N} \right] \quad (10)$$

где  $\Theta$  – коэффициент, учитывающий недостаток скорости у стенки до средней скорости потока;  $S\Delta N$  – площадь рассматриваемого сечения потока;  $S_c$  – площадь минимального сечения.

На основании уравнения (6) условие разрушения в канале замкнутой кавитационной полости можно записать как

$$\frac{P_2}{P_1} < 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N} + \frac{P_{\min}}{P_1} \left[ 1 - 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N} \right] \quad (11)$$

В упрощенной форме, с учетом малого порядка второго слагаемого данное условие указывает на зависимость критерия срыва от коэффициентов сжатия  $\varepsilon$  и расширения  $\frac{S_c}{S\Delta N}$  струи и записывается как

$$\frac{P_2}{P_1} < 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N}, \quad (12)$$

а условие существования установившейся каверны имеет вид

$$\frac{P_2}{P_1} > 2\Theta\varphi\mu \frac{S_c}{S\Delta N}, \quad (13)$$

При движении потока на высоких скоростях с образованием кавитационной каверны наблюдается изменение равновесной растворимости газа в ней. Такое изменение может происходить в сторону уменьшения до 30–50%. В последующем после выделения газовой фазы внутрь кавитационной каверны у жидкости наступит новое значение растворимости. Те пузырьки газа, которые не попали в каверну, а вместе с потоком увлеклись в зону высокого давления уменьшат свой объем, но разрушаться не будут образуя при этом стабильную газовую эмульсию.

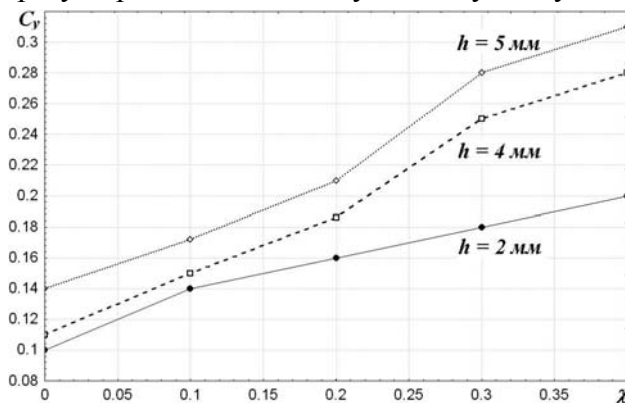


Рис. 2. Зависимость величины  $C_y$  от толщины основного потока.  $\alpha = 13^0$ ,  $\lambda = 0,01$

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 [2]. Другими словами способ кавитационного испарения при движении потока не будет изменять реологические свойства остальных компонент СЛВ.

Для случая плоского течения с наличием суперкавитационной каверны одна из ее границ была в первом приближении смоделирована в виде горизонтальной плоскости. Такой подход позволил рассмотреть задачу о границе взаимодействия каверны с движущимся потоком в постановке задачи о кавитационном обтекании плоской пластины. Для проверки полученных численных данных использовались теоретические результаты работы [4]. Расчет коэффициента подъемной силы, который испытывает внешний контур суперкавитирующей каверны по линейной теории определялся как



$$C_y = \frac{\pi}{5} \alpha \lambda \quad (14)$$

где  $\alpha$  – угол атаки (угол входа основного потока на границу каверны);  $\lambda$  – удлинение каверны определяемое как отношение площади ее горизонтальной проекции к квадрату длины каверны.

Как показали результаты численных расчетов, представленные на рисунке 2 с ростом расстояния от границы каверны до верхней стенки канала, подъемная сила на внешний контур полости увеличивается.

#### Список литературы

1. Международная конвенция MARPOL 73/78.
2. О.М.Яхно, А.Д.Коваль, Л.И.Пищенко, В.П.Паскалов, Н.Н.Яске. Кавитация в переработке нефти. Київ: Світ, 1999. – 263 с.
3. Ермошкин Н.Г., Калугин В.Н., Корнилов С.В., Кулешов И.Н. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод. Одесса: Феникс. – 44 с.
4. И.Т. Егоров, Ю.М. Садовников, И.И. Исаев, М.А. Басин. Искусственная кавитация. –Л.: Изд-во Судостроение, 1971. – 283 с.

УДК 678.057

Д.В.Костюк, А.А.Беспалов студ., Д.Д.Рябинин канд.техн.наук  
НТУ Украины «Киевский политехнический институт» г.Киев, Украина

### ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАДИУСА ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРИ ТЕЧЕНИИ УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА

---

*Полистирол широко використовується в промисловості, при його обробці зустрічається багато випадків течії розплаву в каналах не круглого перерізу. В даній статті досліджуються особливості течії полістиролу в прямокутних каналах різних геометричних розмірів, оцінюється допустимість використання гідравлічного радіусу при розрахунках характеристик каналів.*

*Polystyrene is widely used in industry, at its treatment are many cases of flow of fusion in channels nonround-form. In this article are probed the features of flow of polystyrene in the rectangular channels of different geometrical sizes, estimated acceptability of use of hydraulic radius for calculations of channels characteristics.*

---

#### ВСТУПЛЕНИЕ

Повышенная механическая прочность и эластичность ударопрочного полистирола, способность выдерживать значительные ударные нагрузки без разрушения, высокие диэлектрические свойства, химическая стойкость, слабое воздействие, оказываемое на него минеральными маслами, обуславливают широкое применение изделий из ударопрочного полистирола, а также развитие промышленности переработки этого материала с использованием современного оборудования. Для успешного решения этих задач крайне важно знание особенностей реологического поведения полистирола в