

УДК 62-529

А. В. Малахов, д-р физ-мат. наук,
О. В. Стрельцов, канд. техн. наук,
Е. А. Осташко, **С. Н. Старостин**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СУПЕРКАВИТАЦИИ

Аннотация. Рассмотрены основные вопросы автоматизации процесса сепарации многофазных потоков, содержащих воду и вторичные нефтепродукты. Для судовых условий эксплуатации разработан гидродинамический метод сепарации, который основан на использовании процесса суперкавитации. Для нового метода предложена схема и алгоритм автоматизированного управления. Приведены основные выражения, на основе которых построена работа контроллера блока управления. Схема и алгоритм управления позволяют использовать как естественную суперкавитацию, так и искусственную вентиляцию суперкавитирующей каверны.

Ключевые слова: кавитация, сепаратор жидких стоков, технологические параметры очистки, процесс автоматизации, методика расчета параметров сепарации, контроллер, алгоритм автоматизации, закон управления, температура потока, расходно-напорная характеристика, первичный датчик, концентрация примеси, электронная цифровая схема управления

O. V. Malahov, ScD.,
S. V. Streltsov, PhD.,
E. O. Ostashko, **S. M. Starostin**

AUTOMATIZATION OF THE MULTYPHASE FLOWS SEPARATION PROCESS ON THE BASE OF FLUIDDYNAMICS SUPERCAVITY

Abstract. There were considered main questions of separation process automatization for multiphase flows, containing water and secondary oil products. For ship working conditions there was developed fluid dynamics separation method, which has been based on super cavity process usage. For the new method the scheme and algorithm of automatic control was offered. Main formulas, that are basic for the work of governing block controller were described. The scheme and algorithm of process control give an ability to use as natural cupercavitation as an artificial ventilation of supercavity cavern.

Keywords: cavitation, separator of liquid drains, purification technological parameters, automatization process, calculating methodic for separation parameters, controller, algorithm of automatization, governing law, flow temperature, flow rate and water head characteristic, primary unit, waste concentration, electronic-digital governing scheme

О. В. Малахов, д-р фіз-мат. наук,
С. В. Стрельцов, канд. техн. наук,
Е. О. Осташко, **С. М. Старостін**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ БАГАТОФАЗНИХ ПОТОКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ СУПЕРКАВІТАЦІЇ

Анотація. Розглянуто основні питання щодо автоматизації процесу сепарації багатофазних потоків, що містять воду та вторинні нафтопродукти. Для судових умов експлуатації розроблено гідродинамічний метод сепарації, який засновано на використанні процесу суперкавітації. Для нового методу запропоновано схему і алгоритм автоматизованого управління. Наведено основні вирази, на основі котрих побудована робота контролера блоку управління. Схема та алгоритм управління дають змогу використовувати як звичайну суперкавітацію, так і штучну вентиляцію суперкавітаційної каверни.

Ключові слова: кавітація, сепаратор рідких стоків, технологічні параметри очистки, процес автоматизації, методика розрахунку параметрів сепарації, контролер, алгоритм автоматизації, закон управління, температура потоку, витратно-напірна характеристика, первісний датчик, концентрація домішок, електронна цифрова схема управління

Введение. В процессе эксплуатации судов всегда возникают стоки, которые представляют собой многофазную смесь воды с продуктами нефтехимии. Такие судовые стоки должны всегда подвергаться сепарации [3], а одним из главных технологических

параметров этого процесса является производительность. Для ее существенного повышения необходима полная автоматизация всех рабочих процессов.

Основная проблема всех известных отечественных и передовых зарубежных технологий сепарации судовых льяльных вод заключается в невозможности сбора и после-

© Малахов А.В., Стрельцов О.В.,
Осташко Е.А., Старостин С.Н., 2013

дующей переработки получаемой высококонцентрированной смеси нефтепродуктов [5–7]. Конечным продуктом является только очищенная вода. Решение этой проблемы может кардинальным образом повлиять на сокращение объемов используемых природных ресурсов и повысить качество контроля состояния экологии и биосферы в планетарном масштабе.

Материалы исследования. В ходе проведенных исследований был разработан принципиально новый метод сепарации, основанный на гидродинамическом процессе суперкавитации [4, 8] и на его основе был создан алгоритм работы сепарационной установки. Процесс кавитационной сепарации не возможен без точного поддержания технологических параметров и по этой причине одной из главных научных задач является разработка нового алгоритма автоматизации, базирующегося на основных законах гидромеханического управления суперкавитацией [2]. В ходе исследования были определены основные формулы и соотношения, заложенные в работу предложенного алгоритма. К основным задачам автоматизации сепарационной установки относятся:

обеспечение автоматического управления запорно-регулирующей арматурой, за счет которой производится регулировка напорно-расходных характеристик нагнетательного и компрессорного оборудования;

контроль и управление основными рабочими характеристиками процесса сепарации (расход исходной смеси, производительность по отделяемой воде и т.д.)

Для решения этих задач был разработан алгоритм управления, при работе которого обеспечиваются:

автоматический контроль температуры, объема и состава исходной смеси;

автоматический запуск и остановка работы кавитационного сепаратора;

обеспечение таких положений запорно-регулирующей арматуры, при которых поддерживается максимальное значение производительности судового сепаратора многофазных жидких стоков;

сбор с последующим сбросом очищенной от нефтепродуктов (до заранее заданной концентрации) воды;

пуск и остановка нагнетательного оборудования;

прекращение процесса сепарации при достижении необходимой степени очистки.

Для реализации всех указанных операций в системе автоматического управления необходимо использовать следующие первичные датчики: датчик температуры, датчик уровня, датчик концентрации, датчик давления.

На рис. 1 приведена схема автоматизации управления судовым сепаратором многофазных потоков. Алгоритм работы автоматизированной системы управления, приведенный на рис. 2, обеспечивает выполнение следующих операций:

запуск установки и открытие по заданному закону управления регулировочных вентилей подачи обрабатываемого потока и вентилей отбора сепарированной воды в линиях рабочего контура сепаратора;

регулирование напорно-расходных характеристик гидравлической и пневматической сети сепаратора;

контроль и регулирование температуры подаваемого на сепарацию потока;

контроль и регулирование размеров кавитационной каверны в рабочей камере сепаратора;

запуск генератора ультразвуковых колебаний для поддержания режима;

суперкавитации в рабочей камере сепаратора.

В качестве базовых технологических приборов и устройств автоматизированной системы управления судовым узлом сепарации необходимо использовать:

электронные клапаны, компрессоры и насосы, управляемые контроллером управления сопряжения и сбора информации;

датчики давления, уровня, расхода;

электронную цифровую схему управления.

Частота опроса всех датчиков должна соответствовать значению не менее 0.001 сек, а контроль рабочего процесса необходимо осуществлять в автоматическом режиме с выводом значений основных параметров на цифровой индикатор.



Рис. 1. Схема автоматизации управления судовым сепаратором многофазных потоков:
 D1...4 – Цифровые данные измерительных датчиков;
 P1...9 – Импульсные сигналы управления исполнительных устройств

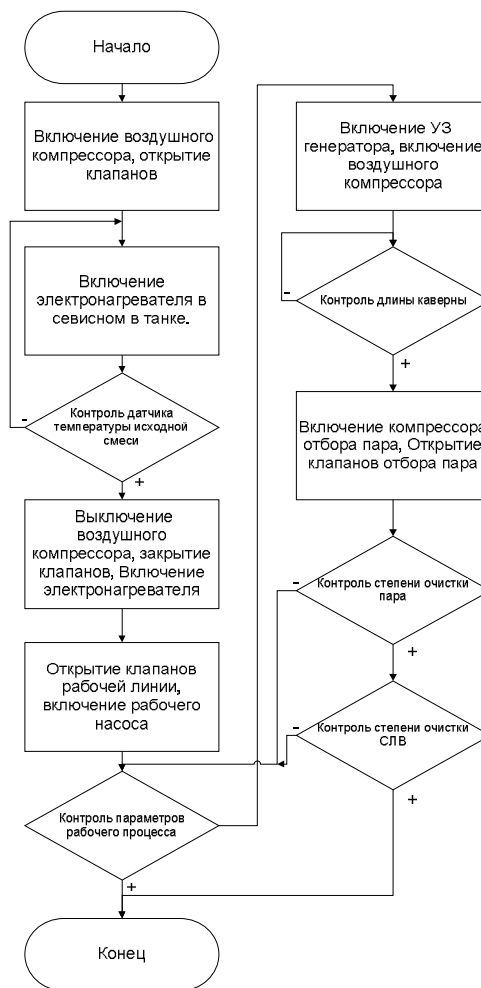


Рис. 2. Алгоритм работы системы автоматического управления судовым сепаратором многофазных потоков

Одним из самых важных элементов разработанного алгоритма управления является функция контроля рабочих параметров процесса сепарации [1]. В основу контроля была положена разработанная и не имеющая аналогов методика вычисления основных показателей поддержания в рабочем режиме суперкавитационной каверны. Используемые математические соотношения позволяют моделировать поведение кавитационной каверны при ее создании, как естественным путем, так и за счет искусственной воздушной вентиляции.

К основным расчетным соотношениям, которые были заложены в основу алгоритма автоматизированного управления судовым сепаратором, относятся:

– число кавитации, позволяющее судить о переходе сепаратора в рабочий режим,

$$\Omega = \frac{P_{сб.м} + \rho gh - P_{н.п.}}{\rho V^2}, \quad (1)$$

– максимальная длина кавитационной суперкаверны, при помощи которой регулируется величина расхода отбираемого водяного пара

$$L_{max} = \frac{1,66d}{\Omega_{min}}, \quad (2)$$

– минимальное расстояние h между стенкой рабочей камеры сепаратора и границами каверны, характеризующее ее пространственную устойчивость

$$h = \frac{0,375}{Fr_d^{4/3}}, \quad (3)$$

– безразмерный коэффициент избыточного давления на внутренней поверхности рабочей камеры судового кавитационного сепаратора, при помощи которого регулируется расход воздуха, подаваемого на вентиляцию каверны,

$$\bar{P} = \frac{P_i - P_{сб.м} - \rho gh}{\rho V^2}, \quad (4)$$

– скорость обрабатываемого потока, соответствующая наступлению кавитации и началу процесса сепарации

$$V = \sqrt{\frac{P_{сб.м} + \rho gh - P_i}{\frac{\rho \xi_{max}}{2}}}, \quad (5)$$

– скорость подачи воздуха при искусственной вентиляции суперкаверны

$$V_в = \sqrt{\frac{2P_a}{\rho_B \left(\lambda \frac{l}{d} + \bar{P} \right)}}, \quad (6)$$

– скорость подачи газа при искусственной вентиляции суперкаверны

$$V_{Г} > V \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{Г}} (1 + \Omega)}. \quad (7)$$

В выражениях (1)–(7) были использованы следующие обозначения: $P_{сб.м.}$ – давление в накопительном танке; $P_{н.п.}$ – давление насыщенного водяного пара; h – высота расположения накопительного танка по отношению к оси симметрии кавитационной рабочей камеры сепаратора; ρ – плотность исходного потока; V – скорость потока на входе в кавитатор; g – ускорение; d – диаметр диска; Ω_{min} – минимальное число кавитации; Fr – число Фруда; P_i – давление на поверхности рабочей каверны кавитатора; ζ – коэффициент разрежения; $\rho_в$, $V_в$ – плотность и скорость двухвального в каверну воздуха; P_a – атмосферное давление; \bar{P} – коэффициент давления за плоскостью входа (двухвального) воздуха в каверну; λ – коэффициент гидравлического трения канала подачи воздуха; l , d – длина и диаметр канала подачи воздуха.

Процесс сепарации основан на создании в движущемся потоке сточных вод кавитационной суперкаверны с последующим отбором из нее водяного пара. Исходя из этого, одной из основных контрольных характеристик работы сепарационной установки является зависимость относительной длины суперкаверны от числа кавитации обрабатываемого потока [9, 10]. Пример такой характеристики, полученной расчетным путем, показан на рис. 3.

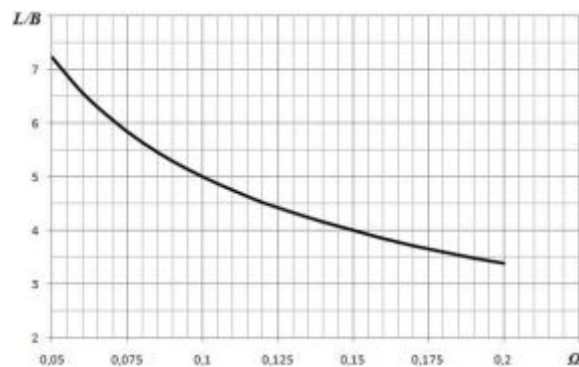


Рис. 3. Зависимость относительной длины суперкаверны от числа кавитации

Выводы. На основании результатов проведенных исследований были получены следующие выводы:

1. Основным гидромеханическим параметром, влияющим на качество работы разработанного сепаратора, является скорость обрабатываемого потока на входе в сепаратор.

2. Предложенный алгоритм автоматического управления является одним из основных элементов для комплексного решения задачи очистки жидких стоков.

3. Необходимость соблюдения точных параметров процесса сепарации требует применения средств автоматизации для контроля за всеми динамическими характеристиками обрабатываемого потока.

Список использованной литературы

1. Малахов, А. В. Автоматизированная установка гидродинамической сепарации топливных смесей на основе воды. / А. В. Малахов, О. В. Стрельцов, И. В. Ткаченко, О. Е. Гугуев // *Электромашинобудування та електрообладання*, Тематич. – Вип. 72. – К. : «Техніка». – 2009. – С. 167 – 171.

2. Малахов, А. В. Методика расчета рабочего процесса в кавитационном сепараторе судовых льяльных вод. / А. В. Малахов, Е. А. Осташко, С. Н. Старостин // *Вісник Одеського нац. морського ун-ту*. – 2012. – № (3)36. – С. 146 – 155.

3. Международная конвенция MARPOL 73/78.

4. Осташко, Е. А. Исследование характеристик кавитирующего многофазного потока судовых льяльных вод. Проблемы техники. / Е. А. Осташко // *Научно-производственный журнал*. – ОНМУ-ХНУ. – 2012. – № 1. – С. 120 – 128.

5. Синайский, Э. Г. Сепарация многофазных многокомпонентных систем / Э. Г. Синайский, Е. Я. Лапига, Ю. В. Зайцев. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», –2002. –621 с.

6. Ермошкин, Н. Г. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод / Н. Г. Ер-

мошкин, В. Н. Калугин, С. В. Корнилов, И. Н. Кулешов. – Одесса : Феникс, 2007. – 44 с.

7. Тихомиров, Г. И. Модернизация судовых нефтеводяных сепараторов / Г. И. Тихомиров // *Морской флот*. – 2003. – №6. – С. 40 – 41.

8. Li, W. H. Pressure Generated by Cavitation in a Pipe / W. H. Li and J. P. Walsh // *Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. – 1964. –P. 113 – 133.

9. Ozol, J. Cavitation Experience with Control Valves in Nuclear Power Plants / J. Ozol, J. H. Kim and J. Heizer – 1994. –FED – Vol. 190, Cavitation and GAS-Liquid Flow in fluid Machinery and Devices, ASME.

10. Shu, J. -J. Transmission Line Modelling with Vaporous Cavitation / J. -J. Shu, K. A. Edge, C. R. Burrows and S. Xiao // Presented at the ASME Winter Annual Meeting, 93-WA/FPST-2. – 993.

Получено 21.01.2013

References

1. Malahov, A. V. Hydrodynamic separation automated plant for water based fuel blends / A. V. Malahov, O. V. Streltsov, I. V. Tkachenko, O. E. Guguev // *Electrical machinery and Electrical Equipment. Thematic*. – Issue 72. – Kyiv : Tehnika. – 2009. – P. 167 – 171 [in Russian].

2. Malahov, A. V. Calculation methodic for working process inside cavity bilge water separator / A.V. Malahov, E. O. Ostashko, S. M. Starostin // *Journal of Odessa national maritime university* – 2012. –№ (3)36. – P. 146 – 155 [in Russian].

3. International convention MARPOL 73/78 [in Russian]

4. Ostashko, E. O. Investigation of main features of bilge water multiphase cavity flow. Problems of technique / E. O. Ostashko – Odessa : – 2012. – № 1. – P. 120 – 128 [in Russian].

5. Sinaiskiy, E. G. Separation of multiphase many component systems / E. G. Sinaiskiy, E. Y. Lapiga, U. V. Zaitsev – Moscow : ООО «Nedra-Biznestsentr», 2002. – 621 p. [in Russian].

6. Ermoshkin, N. G. Ship oil waters separators / N. G. Ermoshkin, V. N. Kalugin, E. V. Kornilov, I. N. Kuleshov – Odessa : Feniks, 2007. – 44 p. [in Russian].

7. Tihomirov, G. I. Modernization of ship oil waters separators / G. I. Tihomirov – 2003. – Morskoi flot, – № 6. P. 40 – 41 [in Russian].

8. Li, W. H. Pressure Generated by Cavitation in a Pipe / W. H. Li and J. P. Walsh // Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. – 1964. –P. 113 – 133 [in English].

9. Ozol, J. Cavitation Experience with Control Valves in Nuclear Power Plants / J. Ozol, J. H. Kim and J. Healzer //FED-Vol. 190, Cavitation and GAS-Liquid Flow in fluid Machinery and Devices, ASME. – 1994 [in English].

10. Shu, J. -J. Transmission Line Modelling with Vaporous Cavitation / J. -J. Shu, K. A. Edge, C. R. Burrows and S. Xiao //Presented at the ASME Winter Annual Meeting, 93-WA/FPST-2. – 1993 [in English].



Малахов Алексей Владимирович,
д-р физико-математических наук.
Одесского нац. морского ун-та, проф. каф. теории и проектирования корабля.
г.Одесса, ул. Мечникова 34, ОНМУ.
тел. 048732-17-35



Стрельцов Олег Васильевич, канд. техн. наук Одесского нац. политехн. ун-та, доц. каф. компьютерных систем, г. Одесса, пр. Шевченко 1, ОНПУ
тел. 048705-85-63



Осташко Егор Александрович, аспирант каф. теории и проектирования корабля Одесского нац. морского ун-та.
г. Одесса, ул. Мечникова 34, ОНМУ.
тел. 048732-17-35



Старостин Сергей Николаевич, аспирант каф. теории и проектирования корабля Одесского нац. морского ун-та.
г.Одесса, ул. Мечникова 34, ОНМУ.
тел. 048732-17-35