

А. Н. Палагин

Национальный университет "Одесская морская академия", г. Одесса, Украина

МЕТОД УСТРАНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОБОК ВНУТРИ БАЛЛАСТНЫХ ТАНКОВ

Рассмотрена проблема эксплуатации судов погружного типа при погружении или всплытии относительно уровня морской поверхности. Установлено, что при таких операциях происходит возникновение паразитных объемов воздуха в балластных танках. Движение в балластных танках больших воздушных объемов во время качки судна приводит к неконтролируемому дополнительному раскаванию и повышает вероятность наступления аварии. Для эксперимента использована схема удаления паразитного воздуха за счет использования судовой компрессорной системы. За счет установки набора сопловых аппаратов и использования принципа дискретной подачи сжатого воздуха для разрушения паразитного воздушного объема были использованы воздушные струи с высоким давлением. Основной принцип работы такой системы заключался в разбивке большого паразитного воздушного пузыря на ряд мелких, которые при равномерном заполнении всей поверхности воды в судовом танке приводили к снижению уровня колебаний балластной воды. В случае соударения струи под давлением с воздушным пузырем, процесс заполнения балластных танков становится эффективнее. В этом случае достигалось практически мгновенное изменение большого объема паразитного воздуха в танке. При реализации такого процесса весь воздух может быть удален в нормальном штатном режиме. Эксперименты сфокусированы на измерении показателей, влияющих на неконтролируемый крен судна. При погружении судна время полного заполнения всех балластных танков при работе новой системы сократилось.

Ключові слова: избыточный воздух; балластная вода; корпус судна; ударные струи; качка судна.

Введение. Современные тенденции в развитии водного транспорта, используемого для перевозки крупногабаритных и нестандартных грузов на судах погружного типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, требуют использования новых подходов к технологии эксплуатации таких судов. Пример такого судна показан на рис. 1. На первое место выходят требования к повышению надежности их работы на волнении и сокращению сроков проведения погрузочно-разгрузочных операций без снижения показателей аварийности.



Рис. 1. Судно Target

Основными технологическими операциями при работе судов погружного типа, помимо транспортирования груза, являются погружение судна под уровень морской поверхности или всплытие над ней. К этим операциям предъявляются повышенные требования в силу того, что они непосредственно связаны с приемом нестандартных крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Эти операции в случае их полностью регламентированного исполнения определяют общий уровень безаварийной работы судна.

Специфические особенности конструктивного исполнения таких судов при погружении или всплытии судна на месте приемки или сдачи груза всегда приводят к одной и той же проблеме – возникновению и дальнейшему хаотическому движению воздушных полостей внутри заполненных водой танков судна. В привязке к техническим особенностям работы судов погружного типа проблема устранения паразитных объемов воздуха внутри балластных танков, заполненных водой, не рассматривалась вообще.

Материал и методы исследования. Целью работы является увеличение эффективности работы и повышение эксплуатационных характеристик судов погружного типа, путем разработки новой технологии устранения избыточных паразитных объемов воздуха в судовых балластных танках.

Объектом исследования является процесс затопления или всплытия судов погружного типа в условиях волнения морской поверхности.

Информация об авторе:

Палагин Александр Николаевич, адъюнкт кафедры судовых вспомогательных механизмов. Email: apalagin113@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Палагин А. Н. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(5). С. 109–113.

Citation APA: Palagin, O. M. (2017). Method of elimination of air curves inside ballast tanks. Scientific Bulletin of UNFU, 27(5), 109–113. <https://doi.org/10.15421/40270522>

Предметом исследования является технологическая система заполнения или опорожнения технологических балластных танков на судах погружного типа.

Методы исследования. В работе использована теория плавания воздушных пузырьков в жидкостях для оценки влияния параметров волнения на поведение паразитных воздушных объемов в балластных танках судна.

Процесс разрушения паразитных воздушных пузырей внутри балластных танков на судах погружного типа может быть реализован по двум направлениям – механическому и гидродинамическому. Эти направления можно реализовать следующим путем:

- механическое разрушение за счет системы решеток, расположенных на верхней стенке балластного танка и частично погруженных под уровень балластной воды;
- гидродинамическое разрушение за счет использования принципа гидродинамической неустойчивости движущегося в жидкости воздушного пузыря.

Механическое разрушение паразитного воздушного пузыря можно произвести с помощью стабилизирующих решеток. Их обычно используют для выравнивания эпюры скорости и снижения турбулентности движущегося потока. Вторым вариантом может являться использование плохообтекаемых профилей (плоских пластин, квадратных или треугольных стрелок и т.п.). Наиболее часто они используются в технологиях, связанных с тепло- или массообменом. В этом случае, при отрыве движущегося потока, за такими решетками образуются сложные вихревые структуры (Aleksjuk, Shkadova, & Shkadov, 2010).

С точки зрения качества обеспечения процесса разрушения воздушного пузыря, стабилизирующие решетки

являются надежным, простым и дешевым в реализации техническим решением. Их использование на судах невозможно из-за необходимости частого внутреннего осмотра балластных танков как на стоянке, так и во время хода судна. В случае установки стабилизирующих решеток в верхней части танков степень доступа к этой зоне будет существенно отличаться от танка к танку. С точки зрения эксплуатации механических решеток, необходимо отметить, что балластный танк, показанный на рис. 2, разделен на два уровня: нижний прямоугольный объем, не содержащий переборок, высотой 8 м; верхний объем с высотой 2,8 м и с ребрами жесткости, расположенными по схеме: длина 2,5 м с шагом 0,815 м. Оба объема соединены между собой через рабочие люковые отверстия (Aksjutin, 1986; Burmaka, et al., 2012).

Все вышеприведенные данные указывают на второй недостаток использования технологии механического разрушения воздушных пробок. При фактических размерах паразитных воздушных пробок, превышающих величину 2 м, эффективность использования механических решеток сводится к минимуму, поскольку они не смогут обеспечить самый главный показатель – значительное сокращение объема паразитного воздушного пузыря.

При движении внутри балластного танка большой по объему паразитной воздушной пробки, а соответственно и массы воды за ней, возникает проблема увеличения ее присоединенной массы, которая неизменно проявляется в росте неконтролируемого угла крена судна (Sizov, Aristov, & Lukin, 1982).

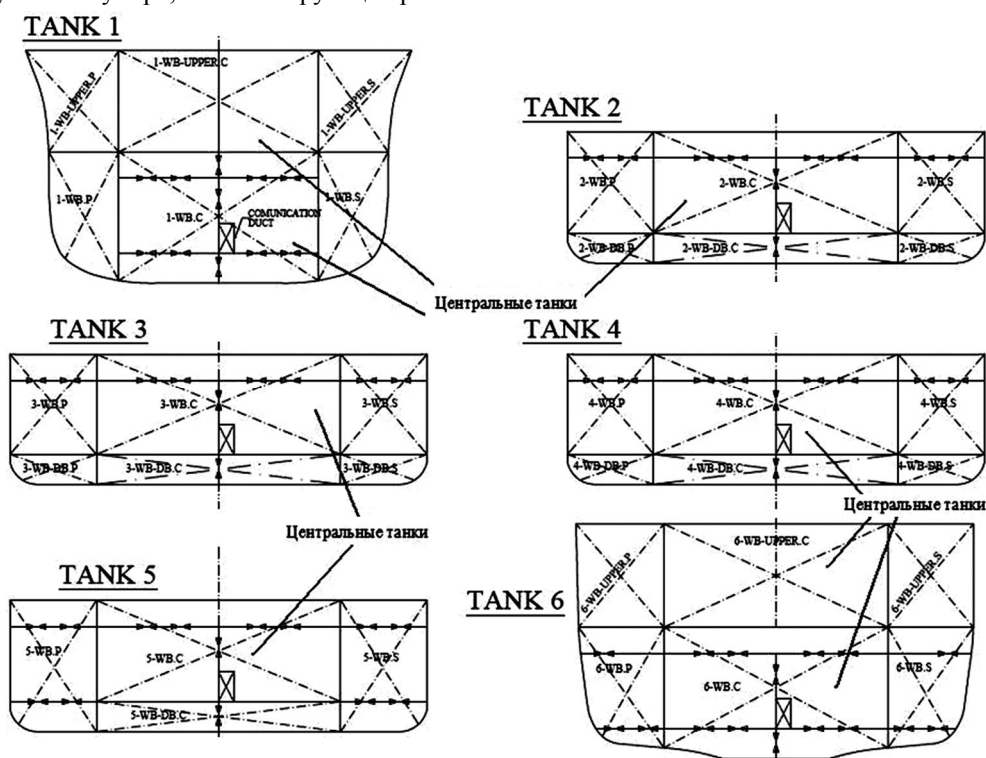


Рис. 2. Расположение центральных танков на судне Heavy-Lift Target

Самым простым и надежным способом устранения негативных последствий от этого движения может являться разделение воздушной пробки на ряд мелких и отделенных друг от друга воздушных пузырей или полное ее уничтожение на окончательной стадии заполнения судовых балластных танков. На этапе эксперимен-

тального изучения процесса разрушения паразитного воздушного пузыря в условиях работы судна погружного типа "Target" компании Dockwise – Boskalis была использована схема удаления паразитного воздуха за счет использования судовой компрессорной системы. За счет установки набора сопловых аппаратов и использо-

вания принципа дискретной подачи сжатого воздуха для разрушения паразитного воздушного объема были использованы воздушные струи с высоким давлением. Основной принцип работы такой системы заключался в разбивке большого паразитного воздушного пузыря на ряд мелких, которые при равномерном заполнении всей поверхности воды в судовом танке приводили к снижению уровня колебаний всей массы балластной воды. При реализации такого процесса весь воздух может быть удален в нормальном штатном режиме, соответствующему случаю наилучшей топplingовки танков, т.е. при отсутствии как качки судна, так и волнения морской поверхности.

Результаты исследования. Общая схема технологии разрушения паразитной воздушной пробки показана на рис. 2. В используемом научно-техническом решении на подволоке танка устанавливается большое число ультразвуковых датчиков уровня. Эти датчики служат не только для индикации угла наклона поверхности воды в балластном танке, но также сигнализируют о наиболее вероятном месте расположения паразитного воздушного пузыря (или пузырей) в любой момент времени. Суммарное количество датчиков является величиной переменной, поскольку напрямую определяется габаритными размерами балластного танка.

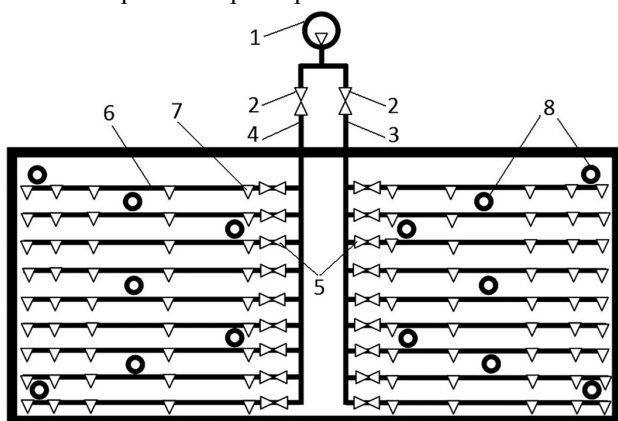


Рис. 2. Схема разбивки воздушной пробки за счет повышенного давления: 1) воздушный компрессор; 2) автоматические клапаны отсекающие; 3, 4) правый и левый контуры линии подачи воздуха под давлением; 5) клапан включения линии с сопловыми воздушными насадками; 6) импульсная воздушная линия; 7) сопла; 8) ультразвуковой датчик положения воздушной пробки

При проведении экспериментов, как это показано на рис. 2, по ширине балластного танка сопловые насадки расставлялись с переменным шагом по длине воздушного трубопровода высокого давления. Сгущение мест установки датчиков производилось по мере приближения к угловым зонам, т.е. к зонам, где вероятность нахождения паразитного воздушного объема является наиболее высокой. Технология разрушения паразитного воздушного пузыря в рассматриваемой схеме подразумевает использование воздушных струй под давлением. Они подаются из сопловых насадок на ту часть поверхности балластной воды, где в данный момент времени согласно показаниям ультразвуковых датчиков находится паразитный воздушный пузырь.

Во всех экспериментах, в качестве основного узла контроля положения уровня балластной воды в судовом танке, использовалась система из набора ультразвуковых датчиков (Foka, 2010).

В случае соударения струи под давлением с воздушным пузырем процесс заполнения балластных танков становится намного эффективнее. В этом случае достигалось практически мгновенное изменение объема паразитного воздуха – сплошной пузырь разрушался и наблюдался переход к мелкопузырчатой фазе волнового движения пузырьков воздуха на поверхности воды в танке.

Основная направленность всех экспериментов была сфокусирована на измерении показателей, влияющих на неконтролируемый крен судна. Измерение угла поворота корпуса судна во время качки осуществлялось при помощи автоколлиматора Ultra компании Taylor Hobson (Великобритания).

Измерение времени заполнения балластных танков при их топplingовке осуществлялось при помощи штатного судового цифрового секундомера.

Самым основным результатом, который указал на правильность сделанных научных предположений относительно принципов работы разрабатываемой системы устранения паразитных воздушных пробок внутри балластных танков на судах погружного типа является время полного заполнения балластных танков. Во время операции погружения судна под воду время стопроцентного заполнения всех балластных танков при работе новой системы, отличалось от времени стандартной операции по их заполнению в меньшую сторону, а работа системы положительно влияет на неконтролируемую качку судна, поскольку при всех допустимых значениях рабочего волнения морской поверхности угол крена судна при прочих равных условиях снижается.

При проведении экспериментальных исследований для оценки качества влияния разработанной системы устранения воздушных пробок внутри балластных танков на неконтролируемую качку судов погружного типа было установлено, что она оказывает стабилизирующее действие. Разработанная система привносит положительный эффект в общие эксплуатационные характеристики судна. Во время волнения морской поверхности 0,5 м уровень неконтролируемой качки судна при топplingовке балластных танков во время погружения судна под воду был снижен с 2 до 1,5 градусов. Время полного заполнения балластных танков, при работе системы, сократилось по сравнению со временем стандартной операции по их заполнению на 12 %. По регистрационным данным системы ОКТОПУС, работающей во взаимодействии с системой КАРГОМАСТЕР, было зарегистрировано, что нагрузки на корпус судна в ходе операции балластировки танков судна во время работы системы были снижены по сравнению с обычным погружением на 3,4 %.

Все экспериментальные исследования проводились на судне погружного типа "Target" компании Dockwise –Boskalis (см. рис. 1). Основная направленность измерений заключалась в получении результатов, показывающих, каким образом изменяется неконтролируемый угол крена судна при использовании системы разбивки паразитных воздушных объемов в центральных балластных танках судна.

В случае очень малого волнения, изменения как в естественном, так и управляемом крене судна полностью подчиняются линейному закону. В обоих случаях отклонения корпуса судна от своего равновесного положения являются настолько незначительными, что

можно сделать вывод – при таких режимах эксплуатации судна условия качки не оказывают на его работу никакого влияния. Во время такого режима эксплуатации судна нет необходимости использовать систему устранения воздушных пробок.

Обсуждение полученных результатов. Основной принцип устранения неконтролируемой качки судна за счет разрушения паразитных воздушных пузырей внутри балластных танков подразумевает использование системы подачи воздушных струй под давлением.

На стадии проектирования системы задавались три параметра:

- время действия струи, т.е. количество фаз пневматического удара по поверхности балластной воды в танке;
- количество воздуха, идущего на создание этих струй и заполнение всей системы подачи воздуха под давлением;
- величина ударного давления на выходе из сопловых насадок внутри произвольно взятого балластного танка.

Все остальные показатели, а также конструктивное исполнение системы подачи воздуха и выбор материалов для ее изготовления зависят от трех перечисленных параметров.

Использование разработанной компрессорной системы устранения паразитных воздушных объемов в балластных танках судна подразумевает подачу струи воздуха из форсунки на поверхность воздушного пузыря. В этом случае, с точки зрения автоматизации процесса, возможно использование двух технологических подходов – распределенная или выборочная подача воздушных струй. В первом случае, при распределенной подаче струй внутрь танка, весь процесс должен происходить дискретно с равными временными интервалами. Время работы системы разрушения паразитных воздушных объемов также должно иметь четкие ограничения. В каждый фиксированный момент времени подача из форсунок воздушных струй при заполнении танка на 95 % будет осуществляться по всему контуру вспомогательной системы. Воздушные струи должны подаваться на поверхность балластной воды вне зависимости от пространственного расположения воздушного пузыря по отношению к стенкам.

Степень дискретности работы воздушных форсунок, в первую очередь, определяется первоначальным паразитным объемом воздуха. На рис. 3 приведена графическая зависимость скорости работы системы в зависимости от первоначального объема паразитного воздуха.

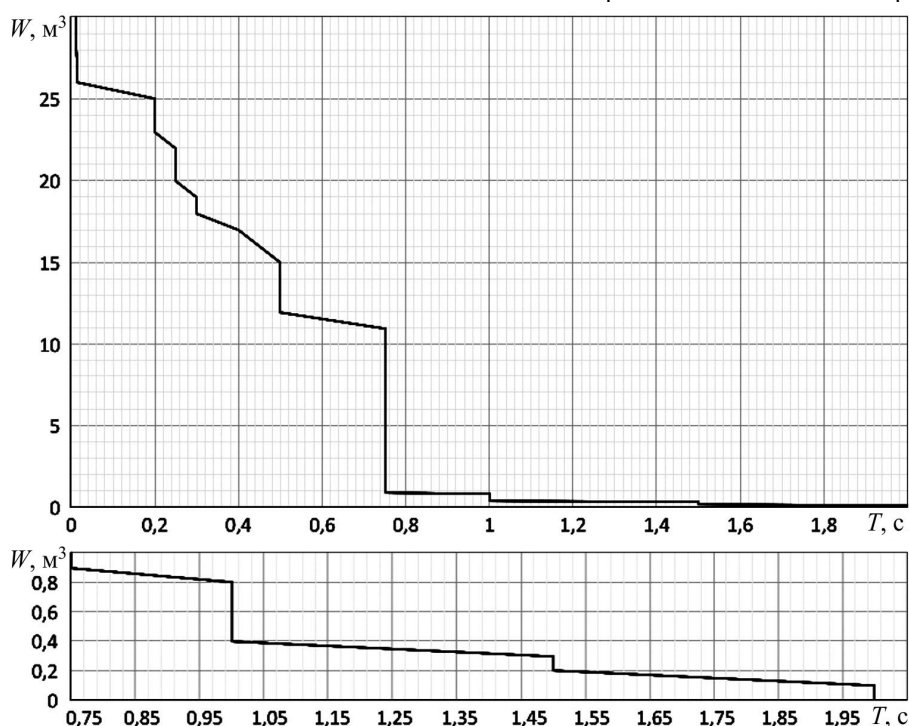


Рис. 3. Влияние объема паразитного воздуха на степень дискретности подачи струй под давлением

Использование распределенной системы предполагает:

- установку четкого времени срабатывания автоматически управляемых клапанов системы подачи воздуха под давлением;
- установление начального паразитного объема воздуха внутри балластного танка;
- постоянный контроль степени наполнения балластных танков до их полного опрессовывания.

Время действия струй при разрушении паразитных воздушных пробок может изменяться в зависимости от используемого в системе угла атаки потока. С учетом того, что его величина ограничена численным диапазоном от 1 до 15 град, величина времени работы струй должна ограничиваться значениями от 0,01 до 2 с.

Во время эксплуатации судов погружного типа основные проблемы с ростом величины неуправляемой качки судна возникают в случае наполненности общего объема балластных танков на 60 % и более. По этой причине система подачи струй воздуха под давлением должна использоваться начиная только с этого уровня заполнения балластной воды по высоте танка.

Дальнейшие исследования процесса разрушения паразитных воздушных объемов внутри судовых балластных танков должны быть направлены на разработку алгоритмов работы разработанной системы с судовыми программами управления по корректировке крена и дифферента судна.

Выводы: 1. При движении внутри балластного танка большой по объему паразитной воздушной пробки

возникает проблема увеличения ее присоединенной массы, которая неизменно проявляется в росте неконтролируемого угла крена судна. Надежным способом устранения негативных последствий от этого движения может являться разделение воздушной пробки на ряд мелких и отделенных друг от друга воздушных пузырей или полное ее уничтожение на окончательной стадии заполнения судовых балластных танков.

2. Наибольшую эффективность при работе судов погружного типа показал метод разрушения пузыря воздушными струями повышенного давления. При его реализации весь воздух может быть удален в штатном режиме.

3. Во время операции погружения судна под воду время полного заполнения всех балластных танков при работе новой системы, отличалось от времени стандартной операции по их заполнению на 12 %.

5. Нижняя граница волнения морской поверхности, при которой необходимо начинать использовать систе-

му разбивки паразитных воздушных объемов в центральных балластных танках судна, должна составлять 0,35 м.

Список использованных источников

- Aksjutin, L. R. (1986). Borba s avarijami morskikh sudov ot poteri ostojchivosti. *Sudostroenie*, 4, 36–45, 160 p. [in Russian].
- Aleksjuk, A. I., Shkadova, V. P., & Shkadov, V. Ya. (2010). Gidrodinamicheskaja neustojchivost otrivnogo obtekanija krugovogo cilindra vjazkoj zhidkostju. *Vestnik Moskovskogo un-ta. Serija I, Matematika. Mehanika*, 5, 51–57. [in Russian].
- Burmaka, I. A., Korol, A. Ya., Ljubenko, S. S., & Sauljak, S. V. (2012). *Teorija i ustrojstvo sudna: ucheb. posobie*. Odessa, 260 p. [in Russian].
- Foka, A. A. (2010). *Sudovoj mehanik: spravochnik*. Vol. 2. Odessa: Feniks, 1032 p. [in Russian].
- Sizov, G. N., Aristov, Yu. K., & Lukin, N. V. (1982). *Sudovye nasosy i vspomogatelnye mehanizmy: uchebn. posobie*. Moscow: Transport, 303 p. [in Russian].

О. М. Палагін

Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, Україна

МЕТОД УСУНЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ПРОБОК ВСЕРЕДЕНІ БАЛАСТНИХ ТАНКІВ

Розглянуто проблему експлуатації суден занурювального типу в разі занурення або спливання щодо рівня морської поверхні. Встановлено, що під час таких операцій виникають паразитні обсяги повітря в балластних танках. Рух у балластних танках великих повітряних обсягів під час гойдання судна призводить до неконтрольованого додаткового розгойдування і підвищує ймовірність настання аварії. Для експерименту використано схему видалення паразитного повітря завдяки використанню суднової компресорної системи. За рахунок установки набору соплових апаратів і використання принципу дискретної подачі стисненого повітря для руйнування паразитного повітряного обсягу використано повітряні струмені з високим тиском. Основний принцип роботи такої системи полягав у розбиванні великого паразитного повітряного міхура на низку дрібних, які за рівномірного заповнення всієї поверхні води у судновому танку приводили до зниження рівня коливальності балластної води. У разі зіткнення струменя під тиском з повітряним міхуром процес заповнення балластних танків стає ефективнішим. У цьому випадку досягнуто практично миттєвої зміни великого обсягу паразитного повітря в танку. Під час реалізації такого процесу все повітря можна вилучити у нормальному штатному режимі. Експерименти сфокусовано на вимірюванні показників, що впливають на неконтрольований крен судна. Під час занурення судна час повного заповнення всіх балластних танків у роботі нової системи скоротився.

Ключові слова: надлишкове повітря; балластна вода; корпус судна; ударні струмені; гойдання судна.

O. M. Palagin

National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine

METHOD OF ELIMINATION OF AIR CURVES INSIDE BALLAST TANKS

Considered the problem of the operation of submersible vessels when diving or surfacing relative to sea level. It is established that during such operations, parasitic air volumes in ballast tanks are generated. Movement in ballast tanks of large air volumes during the rolling of the vessel leads to uncontrolled additional swinging and increases the likelihood of an accident. For the experiment we used a scheme for removing stray air due to the use of the ship's compressor system. By installing a set of nozzle apparatus and using the principle of discrete supply of compressed air to destroy the parasitic air volume, air jets with high pressure were used. The basic principle of the operation of such a system was to break down a large parasitic air bubble into a series of small bubbles that, when the entire surface of the water was uniformly filled in a vessel, led to a decrease in the level of fluctuations in the ballast water. In the case of a jet collision under pressure with an air bubble, the filling process of ballast tanks becomes more effective. In this case, almost instantaneous change in the large volume of parasitic air in the tank was achieved. When implementing such a process, all air can be removed in normal operation. The main thrust of all the experiments was focused on measuring the indicators affecting the uncontrolled roll of the ship. The lower boundary of the sea surface disturbance at which it is necessary to start using the system for breaking parasitic air volumes in the central ballast tanks of a vessel should be 0.35 meters. During the operation of diving the ship under water, the time of full filling of all ballast tanks during the operation of the new system was reduced. Further studies of the process of destruction of parasitic air volumes inside shipboard ballast tanks should be aimed at developing algorithms for the work of the developed system with ship management programs for adjusting the ship's roll and trim.

Keywords: excess air; ballast water; hull; shock jets; the pitching of a ship.