

УДК 629.541:621.6.052

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БАЛЛАСТНОЙ СИСТЕМЫ СУХОГРУЗНОГО СУДНА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Васькин Сергей Владимирович¹, доцент, кандидат технических наук

e-mail: serwaskin@mail.ru

Веселов Андрей Владимирович¹, магистрант

e-mail: mirex2131@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе приводятся результаты расчетов некоторых характеристик балластной системы судна при различных режимах ее работы. Приводится предварительный анализ рабочих параметров системы, дается оценка их соответствия требованиям нормативных документов. Расчеты выполнялись с помощью программы «Гидросистема».

Ключевые слова: сухогрузное судно, балластная система, производительность балластных насосов, кавитационный запас, гидравлический расчет, программа «Гидросистема».

MODELING OF THE OPERATION OF THE BALLAST SYSTEM OF A MIXED NAVIGATION DRY CARGO VESSEL

Sergej V. Vas'kin¹, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

e-mail: serwaskin@mail.ru

Andrey V. Veselov¹, Master's Degree student

e-mail: mirex2131@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper presents the results of calculations of some characteristics of the vessel's ballast system under various operating conditions. A preliminary analysis of the system's operating parameters is provided, and an assessment of their compliance with regulatory requirements is given. The calculations were performed using the "Hydrosystem" program.

Keywords: dry cargo vessel, ballast system, ballast pump performance, positive suction head, hydraulic calculation, "Hydraulic System" program.

Балластные системы грузовых судов выполняют важную функцию обеспечения необходимой посадки судна и сохранения его мореходных качеств. При этом работа таких систем должна быть согласована планами грузовых операций, предполагающими многовариантность погрузочно-разгрузочных операций. Следовательно, устройство

системы и режимы ее работы должны предусматривать достаточно большое количество схем приема балласта и сброса его за борт.

Требования к устройству и характеристикам отдельных элементов балластных систем содержатся в правилах классификационных обществ и отраслевых нормах проектирования [1, 2]. В частности, указывается, что система должна быть устроена таким образом, чтобы обеспечивалась возможность заполнения или опорожнения любой одной цистерны или нескольких одновременно. Внутренние диаметры отрезков в балластные цистерны, мм, для судов, эксплуатируемых в морских районах, рассчитываются по выражению [1, 2].

$$d_b = 18\sqrt[3]{V}, \quad (1)$$

где V – вместимость цистерны, м^3 .

Диаметры балластных магистралей определяются на основании гидравлического расчета, причем потери давления в них не должны превышать допустимую высоту всасывания балластного насоса [2]. Производительность балластного насоса определяется из условия обеспечения скорости воды не менее 2 м/с при диаметре трубопровода, определенном по выражению (1) для наибольшей балластной цистерны [1, 2]. Кроме того, с целью обеспечения безотказности и долговечности трубопроводных элементов максимальная скорость движения воды в трубопроводах балластных систем морских судов должна быть не более 3 м/с в соответствии с требованиями методики [3].

Для проверки возможности соблюдения всех указанных выше требований было проведено численное моделирование работы балластной системы. В качестве прототипа для разработки модели было выбрано сухогрузное судно смешанного плавания проекта RDS 32M. Судно имеет три грузовых трюма для перевозки различных видов грузов.

Балластные цистерны на прототипе располагаются в форпике, в районе полубака, перед носовым грузовым трюмом, в пространстве двойного борта, а также в районе ахтерпика. Отдельные цистерны имеют объем от 47,7 до 166,2 м^3 . Основной объем балласта принимается в цистерны №№ 4...9 левого и правого борта, находящиеся в районе грузовых трюмов.

Балластная система судна выполнена по схеме с двумя линейными магистралями, обслуживающими цистерны левого и правого борта. Для заполнения и опорожнения балластных цистерн на судне установлены два центробежных насоса производительностью по 250 $\text{м}^3/\text{ч}$ и давлением 0,3 МПа. Сбрасываемая за борт балластная вода обрабатывается системой управления балластными водами производительностью до 500 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Для оценки параметров системы в процессе эксплуатации была разработана ее модель с использованием программы «Гидросистема», предназначенной для проведения гидравлических расчетов [4]. Расчетная схема моделируемой системы разрабатывалась на основе принципиальной схемы прототипа, из которой были исключены элементы, относящиеся к осушительной части. Внутренние диаметры балластных магистралей и отрезков в балластные цистерны были приняты такими же, как и на прототипе. Размеры и объем бортовых балластных цистерн были приняты одинаковыми и равными 147 м^3 . В качестве балластных насосов при выполнении расчетов использовались насосы марок НЦВ 250/30А и НЦВ 250/20А. Тип запорной арматуры принимался по прототипу, гидравлическое сопротивление системы управления балластными водами – по данным производителя [сайт].

Фрагмент расчетной схемы в районе помещения балластных насосов показан на Рисунке 1.

При численном моделировании основное внимание уделялось процессу откачки балласта. Во время откачки насосы работают в более напряженном режиме, чем при приеме балласта, что обусловлено большими потерями напора во всасывающих и напорных магистралях. Предварительно рассчитывались параметры системы при откачке балласта из

бортовых цистерн, расположенных в районе носового и кормового грузовых трюмов (№№ 8, 9 и 4, 5), а также при откачке балласта из всех бортовых цистерн одновременно с использованием насосов обоих типов. Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

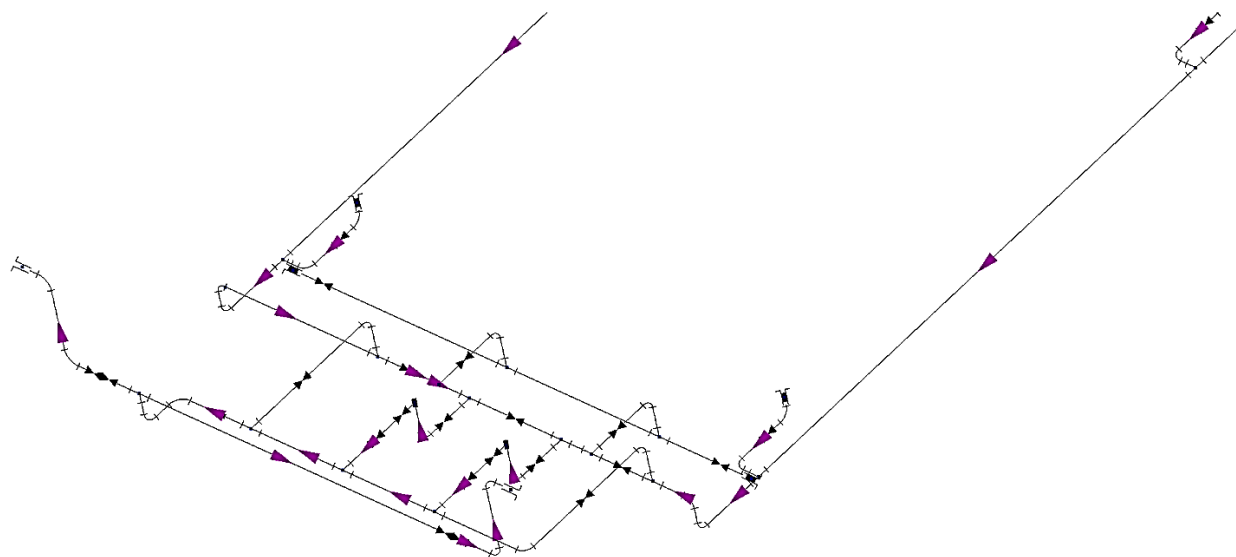


Рисунок 1 – Фрагмент расчетной схемы балластной системы

Таблица 1. Результаты моделирования процесса откачки балласта только из двух бортовых цистерн

Параметр	1 насос НЦВ 250/30А		2 насоса НЦВ 250/30А		1 насос НЦВ 250/20А		2 насоса НЦВ 250/20А	
	БЦ 8,9	БЦ 4,5	БЦ 8,9	БЦ 4,5	БЦ 8,9	БЦ 4,5	БЦ 8,9	БЦ 4,5
Средняя производительность насосов, м ³ /ч	327,2	324,0	409,4	402,7	280,6	278,2	337,6	332,5
Продолжительность откачки балласта, ч	1,8	1,82	1,44	1,46	2,10	2,11	1,74	1,77
Кавитационный запас на входе в насос, м			8,64	7,61	7,90	7,67	8,18	7,48
Средняя скорость воды в приемных отростках, м/с	0,73	0,72	0,91	0,89	0,62	0,62	0,75	0,74
Средняя скорость воды в приемных магистралях, м/с	1,45	1,43	1,82	1,79	1,24	1,23	1,50	1,48

Таблица 2. Результаты моделирования процесса откачки балласта одновременно из всех бортовых цистерн

Параметр	НЦВ 250/30А		НЦВ 250/20А	
	1 насос	2 насоса	1 насос	2 насоса
Средняя производительность насосов, м ³ /ч	328,0	403,0	281,0	330,7
Продолжительность откачки балласта, ч	5,38	4,38	6,28	5,33
Кавитационный запас на входе в насос, м	7,56	8,1	7,77	8,40
Средняя скорость воды в приемных отростках, м/с	0,24	0,29	0,21	0,24
Средняя скорость воды в приемных магистралях, м/с	0,84	1,45	0,73	0,85

Максимальная скорость воды в приемных магистральных, м/с	1,45	1,79	1,24	1,47
--	------	------	------	------

Анализ представленных в табл. 1 результатов показывает, что использование насосов марки НЦВ 250/30А ожидаемо дает выигрыш на 17...21% в производительности и времени выдачи балласта из бортовых танков по сравнению с насосами марки НЦВ 250/20А. Однако, при одновременной работе двух насосов суммарный прирост производительности оказывается меньше ожидаемого – всего 24...25% для насосов НЦВ 250/30А и около 20% для насосов НЦВ 250/20А. Следует отметить, что одиночный насос НЦВ 250/30А при выгрузке балласта работает с расходами, выходящими за пределы его рабочей зоны. Такая работа характеризуется низкими к.п.д. насоса и повышенной потребляемой мощностью. Поскольку потребляемая мощность насоса ограничена мощностью применяемого в агрегате электродвигателя, фактическая производительность насоса, скорее всего, не превысит 300...310 м³/ч, а время, затрачиваемое на выдачу балласта, окажется больше расчетного.

Представленные в табл. 2 результаты в целом повторяют приведенные выше. Как и в предыдущем рассмотренном варианте, применение насосов НЦВ 250/30А обеспечивает более высокую производительность балластных операций. Время выгрузки балласта этими насосами снижается на 16,7% при работе одного и на 17,8% при одновременной работе двух насосов. При откачке балласта сразу из всех бортовых цистерн одним насосом НЦВ 250/30А расход его также выходит за пределы рабочей области.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Принятые для судна-прототипа проектные решения можно в целом признать верными и обеспечивающими надежную работу системы в рассмотренных режимах.

2. Установленные на прототипе балластные насосы несколько избыточны с точки зрения развиваемого напора. Во время их эксплуатации могут возникать режимы, выходящие за пределы рабочих характеристик. Более целесообразной выглядит установка менее мощных насосов. Потеря производительности системы в этом случае будет не столь велика, а меньшие стоимость и энергопотребление таких насосов дадут положительный экономический эффект, правда, весьма незначительный.

3. Диаметры трубопроводов приемных отростков, рассчитанные по формуле (1), должны составлять не более 100 мм, тогда как в проекте они приняты равными 200 мм. Для проверки возможности оптимизации конструктивных параметров системы необходимо провести аналогичные расчеты при меньших по сравнению с проектными диаметрах трубопроводов.

4. Скорости движения воды в рассмотренных режимах нигде не превысили максимально допустимого значения 3 м/с по [3]. В то же время, эти скорости не достигают заложенных в основу расчета 2 м/с. Следовательно, принятые в проекте диаметры трубопроводов нельзя признать оптимальными.

5. Применение программы «Гидросистема» позволяет на стадии выполнения технического проекта получить ориентировочные значения рабочих параметров балластной системы: производительности насосов, времени, затрачиваемого на прием и выгрузку балласта. Эти данные впоследствии могут быть использованы для разработки плана балластных операций на судне.

Список литературы:

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VIII. Системы и трубопроводы. СПб.: РМРС, 2025. URL: <https://lk.rs->



class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=F2F6F256-C4AA-44C1-85BB-3FE047397688&f=2-020101-174-8

2. РД5Р.5270–85. Системы трюмные и балластные судовые. Правила проектирования. СПб.: НИИ «Лот» ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова».

3. РД5.5104–79. Трубопроводы судовые. Методика расчета безотказности и долговечности элементов и допустимые скорости потока морской воды. СПб.: НИИ «Лот» ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова».

4. НПП «Трубопровод». Программа для теплогидравлического расчёта трубопроводных систем и выбора диаметров «Гидросистема». URL: <https://www.truboprovod.ru/software/hst>.

5. Alfa Laval PureBallast 3 Compact. Ballast water treatment system. URL: <https://alaval.nt-rt.ru/images/manuals/obezarazivanie1.pdf>.

