

УДК 629.5.083:629.5.023

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСОВ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАЛЛАСТНОГО ТРУБОПРОВОДА СУДОВ ПРОЕКТА 21-88**Орлов Никита Дмитриевич¹**, магистрантe-mail: sara_ori@mail.ru**Спинуль Алексей Олегович¹**, магистрантe-mail: Spinul000@mail.ru¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены статистические закономерности повреждений корпусных конструкций и условий эксплуатации балластного трубопровода теплоходов проекта 21-88М2. Исходной базой послужили акты дефектации и растяжки наружной обшивки четырёх судов. Установлена максимальная повторяемость повреждений днища, скулы, настила второго дна и междудонного пространства, особенно на участке длины корпуса между 54 и 116/118 шпангоутами. Показано, что трубопровод работает в зонах значимых коррозионных повреждений корпуса и вовлекается в ремонтные операции. Обоснована целесообразность рассмотрения ПНД-труб как коррозионностойкого материала.

Ключевые слова: судно проекта 21-88М2, корпус судна, балластный трубопровод, дефектация, настил второго дна, коррозионный износ, ремонт трубопроводов, ПНД-трубы.

STATISTICAL REGULARITIES OF HULL DAMAGE AND OPERATING CONDITIONS OF BALLAST PIPELINES IN PROJECT 21-88 VESSELS**Nikita D. Orlov¹**, Master's Degree Studente-mail: sara_ori@mail.ru**Alexey O. Spinul¹**, Master's Degree Studente-mail: Spinul000@mail.ru¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The paper considers statistical patterns of hull damage and operating conditions of ballast pipelines in Project 21-88M2 vessels. The study is based on defect reports and shell expansion drawings for four vessels. The highest repeatability of damage was found in the bottom, bilge, inner bottom and double-bottom spaces, especially along the hull length between frames 54 and 116/118. It is shown that the pipeline operates in zones of significant hull corrosion and is involved in repair operations. The feasibility of considering HDPE pipes as a corrosion-resistant material is substantiated.

Keywords: Project 21-88M2 vessel, ship hull, ballast pipeline, defect inspection, inner bottom, corrosion wear, pipeline repair, HDPE pipes.

Введение

Суда проекта 21-88М2 длительное время эксплуатируются в условиях речных перевозок, где корпус воспринимает совокупность контактных, коррозионных и эксплуатационных воздействий. Для таких судов особенно значимы повреждения нижней части корпуса: днищевой обшивки, скуловых поясов, настила второго дна и элементов междудонного пространства. Именно эти конструкции одновременно формируют наружную водонепроницаемую оболочку и среду размещения ряда судовых систем, включая элементы балластного трубопровода.

Актуальность исследования определяется тем, что ремонтные документы по однотипным судам позволяют выявить не единичные дефекты, а повторяющиеся зоны повреждаемости. В настоящей работе использованы акты дефектации и растяжки наружной обшивки четырёх теплоходов проекта 21-88М2. Такой массив данных позволяет сопоставить повреждения по длине корпуса, по поперечным зонам и по характеру дефекта, а также определить участки, где контроль состояния корпуса и балластной системы должен быть наиболее тщательным [1-8].

Цель исследования - выявить статистические закономерности повреждений корпусных конструкций судов проекта 21-88М2 и на их основе оценить условия эксплуатации балластного трубопровода в зонах его размещения. Для достижения цели выполнена группировка дефектов по участкам длины корпуса в пролётах между характерными шпангоутами, элементам корпуса, характеру повреждений и объёму ремонтного воздействия.

Материалы и методы исследования

Исходную базу составили четыре акта дефектации стальных корпусов и четыре растяжки наружной обшивки и настила второго дна. Рассмотрены т/х «Солнечногорск» (акт от 15.11.2019), т/х «Электросталь» (акт от 02.07.2021), т/х «Весьегонск» (предварительный акт от 12.02.2021) и т/х «Северодонецк» (акт от 03.11.2016). В актах для судов «Солнечногорск», «Электросталь» и «Весьегонск» указаны однородные конструктивные признаки: проект 21-88М2, длина корпуса 103,5 м, стальной корпус и продольная система набора [1, 3, 5].

Обработка данных выполнялась по четырём признакам: продольное расположение повреждений по участкам длины корпуса в пролётах между характерными шпангоутами; поперечная зона корпуса (борт, скула, днище, настил второго дна, палуба, междудонное пространство); характер дефекта; объём замены листовых конструкций. Для анализа балластного трубопровода применён косвенный статистический подход: поскольку в исходной базе представлены акты дефектации корпуса, а не отдельные акты дефектации трубопроводов, оценивались зоны расположения, крепления, демонтажа и обслуживания балластного трубопровода - днище, скула, настил второго дна, флоры, кильсоны и междудонное пространство. Поэтому выводы о трубопроводе сформулированы не как статистика его самостоятельных повреждений, а как оценка условий работы в зонах устойчивой повреждаемости корпуса. Состав исходных документов и основные повреждённые участки, использованные для статистической группировки, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходная база статистического анализа

Судно	Документы	Наиболее значимые участки по актам и растяжкам
«Солнечногорск»	Акт от 15.11.2019; растяжка НО и 2-го дна	Скула-днище 19-151 шп.; настил второго дна; кормовое днище 151-169 шп.



«Электросталь»	Акт от 02.07.2021; растяжка днища и 2-го дна	Борт ЛБ/ПрБ; скула-днище 34-54 шп.; настил второго дна 19-147 шп.; кормовое днище 180-184 шп.
«Весьегонск»	Предварительный акт от 12.02.2021; растяжка НО и 2-го дна	Средняя часть 54-116 шп.; скула-днище; настил второго дна; палуба 54-85 шп.
«Северодонецк»	Акт от 03.11.2016; растяжка НО и 2-го дна	Скула 39-54 шп.; борт и скула 54-118 шп.; днище и настил второго дна; зона 118-151 шп.

Результаты статистического анализа корпусных повреждений

По четырём судам установлено преобладание коррозионного износа нижних корпусных конструкций. В актах и растяжках повторяются повреждения днища, скулы, настила второго дна и междудонного набора, а также отдельные деформационные повреждения борта и скулы. Для сопоставления степени ремонтного воздействия объёмы замены листовых конструкций по каждому судну сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Объём замены листовых конструкций по рассмотренным судам

Судно	Площадь замены, м ²	Доля в выборке, %	Основной характер дефекта
«Солнечногорск»	1866,7	41,1	Коррозионный износ со сквозными язвами; вмятины борта
«Весьегонск»	997,5	21,9	Коррозионный износ со сквозными язвами в средней части
«Электросталь»	904,4	19,9	Коррозионный износ с остаточной толщиной менее 1,5 мм
«Северодонецк»	776,3	17,1	Коррозионный износ со сквозными язвами; вмятины
Итого	4544,9	100,0	-

Данные таблицы 2 показывают различную интенсивность ремонтного воздействия по судам, однако во всех случаях сохраняется общий признак: основные работы связаны с нижними и междудонными конструкциями. Это подтверждает, что абсолютный объём ремонта может различаться, но механизм формирования повреждений остаётся сходным - длительное коррозионное воздействие в труднодоступных зонах корпуса, дополненное локальными деформационными повреждениями.

По длине корпуса повреждения распределены неравномерно. Для корректной оценки они рассматривались не как повреждения отдельных шпангоутов, а как повреждения пролётов корпуса между характерными шпангоутами. Наиболее повторяемым является участок между 54 и 116/118 шпангоутами; он встречается во всех четырёх случаях. Участки 19-54 и 116/118-147/151 шпангоутов повторяются на трёх судах, а кормовой участок 151-169/184 шпангоутов имеет более локальный характер. Обобщение по участкам длины корпуса приведено в таблице 3.

Таблица 3. Повторяемость повреждений по участкам длины корпуса

Участок, шп.	Суда, на которых участок повреждён	Повторяемость
19-54 шп.	«Солнечногорск», «Электросталь», частично «Северодонецк» с 39 шп.	3 из 4
54-116/118 шп.	«Солнечногорск», «Электросталь», «Весьегонск», «Северодонецк»	4 из 4

116/118-147/151 шп.	«Солнечногорск», «Электросталь», «Северодонецк»	3 из 4
151-169/184 шп.	«Солнечногорск», «Электросталь»	2 из 4

Статистический анализ условий эксплуатации балластного трубопровода

Представленные материалы не содержат самостоятельных актов дефектации балластного трубопровода, поэтому анализ выполнен по состоянию корпусных зон, где трубопровод размещается, крепится или обслуживается. К таким зонам отнесены днище, скула, настил второго дна, флоры, кильсоны, продольные рёбра жёсткости и междудонные отсеки. Такой подход позволяет оценить не отдельную аварийность труб, а статистические условия их эксплуатации.

На всех четырёх судах выявлены повреждения нижней части корпуса, непосредственно связанные с междудонными пространствами. Для «Солнечногорска» и «Электростали» в актах отдельно указана зачистка междудонного пространства и трюмов от ржавчины и грязи слоем 50 мм на площади 2060,0 м² [1, 3]. Для «Весьегонска» значительные объёмы ремонта затрагивают флоры, кильсоны, продольные рёбра жёсткости и настил второго дна [5]. Для «Северодонецка» повреждения настила второго дна, днища и скулы сопровождаются заменой набора, флоров, кильсонов и элементов крепления [7].

Наиболее значимым для балластного трубопровода является участок между 54 и 116/118 шпангоутами. В этом пролёте длины корпуса повторяются повреждения второго дна, днища, скулы и междудонного набора. Следовательно, при планировании дефектации трубопроводов и их креплений данный участок должен рассматриваться как приоритетный. При этом выявленная закономерность не означает прямой причинной зависимости между каждым повреждением корпуса и трубопровода; речь идёт о пространственной сопряжённости и общности эксплуатационной среды. Сводная оценка зон, значимых для эксплуатации балластного трубопровода, приведена в таблице 4.

Таблица 4. Зоны, значимые для оценки балластного трубопровода

Зона	Повторяемость	Значение для балластного трубопровода
Настил второго дна	4 из 4	Граница и зона доступа к междудонному пространству; показатель состояния среды размещения трубопроводов
Днище	4 из 4	Нижняя зона корпуса, связанная с прокладкой и защитой коммуникаций
Скула	4 из 4	Переходная зона днище-борт, подверженная коррозии и деформациям
Междудонное пространство	не менее 3 из 4 явно	Зона накопления влаги, грязи и продуктов коррозии; доступ к трубопроводам ограничен
Флоры, кильсоны, продольные рёбра жёсткости	4 из 4	Конструкции, рядом с которыми проходят, крепятся или обслуживаются элементы судовых систем

Представленные материалы не фиксируют прямые случаи повреждений балластного трубопровода, однако позволяют оценить условия его работы через повторяемость повреждений корпуса. Так как днище, скула, настил второго дна и междудонное пространство повреждены на всех четырёх судах, трубопровод работает в зонах максимальной коррозионной активности корпуса.



Следовательно, можно сделать обоснованное суждение о воздействии на трубопровод аналогичных коррозионных факторов. Это не заменяет прямую дефектацию труб, но статистически характеризует среду их эксплуатации.

Связь ремонтных работ корпуса и балластного трубопровода

При заменах наружной обшивки, настила второго дна и элементов набора в районах расположения балластного трубопровода зачастую требуется демонтаж участков труб, временное отключение системы и последующий обратный монтаж. При этом сами трубопроводы могут не иметь самостоятельных дефектов, однако вовлекаются в ремонтный процесс.

Поэтому связь между повреждаемостью корпуса и работами с трубопроводом проявляется через общность коррозионной среды и организацию ремонта: частота работ с трубопроводом определяется частотой ремонта корпусных конструкций в зонах его расположения.

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что основная повреждаемость всех рассмотренных судов сосредоточена в нижней части корпуса. Ведущий тип дефекта - коррозионный износ, проявляющийся в виде сквозных язв либо снижения остаточной толщины менее 1,5 мм. Наиболее значимым является район 54-116/118 шп., повторяющийся во всех четырёх случаях.

Сопоставление корпусных повреждений с зонами балластного трубопровода показывает, что трубопровод работает в районах повышенной коррозионной активности и затруднённого доступа. При этом необходимо различать собственные повреждения труб и ремонтные воздействия: демонтаж и повторный монтаж могут выполняться вследствие ремонта корпуса даже без дефектов трубопровода.

Практическая значимость результатов состоит в выделении зон приоритетной дефектации: 54-116/118 шп., скуловые пояса, днище, настил второго дна и междудонное пространство. Эти районы следует рассматривать как единый комплекс корпусных конструкций и элементов судовых систем. Применение коррозионностойких материалов, включая ПНД-трубы, целесообразно рассматривать как направление дальнейшего технико-экономического обоснования.

Заключение

На основе актов дефектации и растяжек наружной обшивки четырёх теплоходов проекта 21-88М2 выявлены устойчивые статистические закономерности повреждений корпусных конструкций: максимальная повторяемость относится к днищу, скуле, настилу второго дна и междудонному пространству, а наиболее характерная продольная зона - 54-116/118 шп.

Балластный трубопровод эксплуатируется в тех же районах, где зафиксирована наибольшая повреждаемость корпуса. Поэтому можно сделать обоснованное суждение о воздействии на него аналогичных коррозионных факторов, даже при отсутствии прямых актов дефектации трубопровода.

Ремонт корпусных конструкций в зонах расположения трубопроводов сопровождается их демонтажом и обратным монтажом. Следовательно, частота работ с балластным трубопроводом связана не только с его собственным состоянием, но и с частотой корпусного ремонта.



С учётом выявленных закономерностей целесообразно рассматривать применение коррозионностойких материалов, в том числе ПНД-труб [9]. Возможное снижение трудоёмкости таких работ требует дополнительного технико-экономического обоснования.

Список литературы:

1. Акт дефектации стального корпуса т/х «Солнечногорск» пр. 21-88М2 от 15.11.2019. - Слип ПРЭБ флота, 2019. - Архивные материалы.
2. Растяжка НО и 2-го дна т/х «Солнечногорск» пр. 21-88М2 от 15.11.2019. - КТО ПРЭБ флота, 2019. - Архивные материалы.
3. Акт дефектации стального корпуса т/х «Электросталь» пр. 21-88М2 от 02.07.2021. - Слип ПРЭБ флота, 2021. - Архивные материалы.
4. Растяжка наружной обшивки днища и настила 2-го дна т/х «Электросталь» пр. 21-88М2. - КТО ПРЭБ флота, 2021. - Архивные материалы.
5. Акт предварительной дефектации стального корпуса т/х «Весьегонск» пр. 21-88М2 от 12.02.2021. - Слип ПРЭБ флота, 2021. - Архивные материалы.
6. Растяжка НО и 2-го дна т/х «Весьегонск» пр. 21-88М2 от 12.02.2021. - КТО ПРЭБ флота, 2021. - Архивные материалы.
7. Акт дефектации металлического корпуса т/х «Северодонецк» пр. 21-88М2 от 03.11.2016. - Слип ПРЭБ флота, 2016. - Архивные материалы.
8. Растяжка НО и 2-го дна т/х «Северодонецк» пр. 21-88М2 от 03.11.2016. - КТО ПРЭБ флота, 2016. - Архивные материалы.
9. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. - Москва: Стандартинформ, 2008. - 32 с.

