Методика снижения нагрузки на опорные устройства при доковании крупнотоннажных судов

Ванторин Иван Дмитриевич
Студент САФУ,
Россия, г. Северодвинск
E-mail: vantorin.ivan@gmail.com

Научный руководитель: **Черенков Николай Иванович**
к.т.н. Кафедра кораблестроения
филиала САФУ в г. Северодвинске
Россия, г. Северодвинск

Постановка судна длиной более 180 м и с водоизмещением более 30000 тонн в док всегда вызывает ряд затруднений и является уникальной морской операцией. В условиях ограниченной длины докового опорного устройства (ДОУ) одной из проблем доковання является наличие носового и кормового свесов которое приводит к резкому росту нагрузок на крайние носовую и кормовую опоры ДОУ и, соответственно, росту нагрузок на корпус судна в районе этих опор. В ряде случаев расчетные нагрузки в районе крайних опор принимают недопустимые значения и ставят под сомнение операцию доковання судна.

Одним из способов снижения нагрузок на крайние опоры является использование упругих опор в составе ДОУ, позволяющих распределить нагрузки в носу и корме на несколько опор, тем самым снизив их до приемлемых значений. Однако изготовление упругих опор не всегда возможно и экономически целесообразно.

Другим способом снижения нагрузок на опоры является использование упругости непосредственно корпуса судна. При таком способе ряд опор ДОУ в носу и корме имеет зазоры между килем и верхней плоскостью опоры. При наличии зазора только на крайней опоре корпус судна получает упругий перегиб и опирается на нее в уже деформированном состоянии, при этом нагрузка распределяется уже между крайней и последующей опорой. При введении большего количества опор с зазорами нагрузка будет распределяться между большим количеством опор.

При использовании для снижения нагрузок на опоры ДОУ упругости корпуса судна основной проблемой является определение необходимых зазоров на стадии проектирования ДОУ.

Автором статьи предлагается методика расчета требуемых зазоров между корпусом корабля и опорой ДОУ. Методика предполагает применение конечно-элементной модели эквивалентного бруса на упругих опорах, имитирующего корпус судна, установленный на опоры ДОУ. При необходимости конечно-элементная модель может учитывать упругость основания дока.

Предварительно определяются нагрузки на опоры ДОУ (реакции опор ДОУ) без наличия зазоров между опорной поверхностью кормовых опор и корпусом судна. Расчетные значения фиксируются по форме таблицы 1.

Таблица 1 — Нагрузки на опоры ДОУ при отсутствии зазоров

№ опоры ДОУ	1	$i-1$	i	$i+1$	n
Нагрузка, т	R_1	R_{i-1}	R_i	R_{i+1}	R_n

По результатам предварительного расчета оценивается, насколько нагрузка на крайние опоры превышает допустимые значения, и какой запас по несущей способности имеют соседние опоры. На основании этого выбирается количество опор, *n*, на которые будет распределена недопустимая нагрузка и которые должны быть одинаково нагружены, нагрузка на опору составит:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}$$

Данная сила не должна быть боле допустимой нагрузки для элементов ДОУ или корпуса судна. В случае если сила R_0 превышает допустимые значения, число опор, *n*, увеличивается.

Далее выполняется пересчет конечно-элементной модели. При этом, в рассматриваемой упругие опоры отбрасываются и вместо них прикладываются усилия R_0. Выполняется расчет перемещений, Δ_i, в точках приложения сил R_0, значения перемещений фиксируются в таблице 2.

Отдельно (с использованием отдельной модели или аналитически) определяются перемещения (прогибы) элементов ДОУ, f_i, и, основания дока, h_i, под действием усилия R_0. Данные значения также фиксируются в таблице 2.

Таблица 2 —Значения перемещений

№ опоры ДОУ	1	$i-1$	i	$i+1$	n
Перемещение сечения корпуса судна	Δ_1	Δ_{i-1}	Δ_i	Δ_{i+1}	Δ_n
Перемещение опоры ДОУ	f_1	f_{i-1}	f_i	f_{i+1}	f_n
Перемещение основания ДОУ	h_1	h_{i-1}	h_i	h_{i+1}	h_n

Искомый зазор между поверхностью ДОУ и корпусом судна будет равен:

$$y_i = \Delta_i - f_i - h_i,$$

Значения зазоров подставляют с учетом знаков. Расчетные значения зазоров округляются до целых и фиксируются по форме таблицы 3. Эти зазоры обеспечиваются при монтаже ДОУ.

Таблица 3 —Значения зазоров

№ опоры ДОУ	1	$i-1$	i	$i+1$	n
Перемещение сечения корпуса судна	y_1	y_{i-1}	y_i	y_{i+1}	y_n

В заключение проводится третий расчет конечно-элементной модели эквивалентного бруса на упругих опорах с учетом рассчитанных зазоров. Расчетные значения реакций опор ДОУ в оконечностях должны быть близки к значению усилия R_0.

Приведенная методика протестирована автором при проектировании ДОУ судна доковым весом 33000 т, длиной 280 м, при длине килевой дорожки ДОУ 197 м и допускаемой нагрузке на опору 950 т. Недопустимая нагрузка на кормовом свесе распределена между 12 опорами. Результаты расчета нагрузок без зазоров и с зазорами между корпусом судна и поверхностью ДОУ приведены в таблице 4.

Таблица 4 — Результаты расчета нагрузок на опоры ДОУ

№ опоры ДОУ (кормовой свес)	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Нагрузка на опору до введения зазора, т	628	654	682	720	762	812	882	918	992	1072	1166	1282
Расчетный зазор между поверхностью ДОУ и корпусом судна	0	1	2	3	5	7	9	11	13	15	18	21
Нагрузка на опору после введения зазора	942	908	912	947	892	847	804	869	877	924	899	936

Из результатов видно, что применение методики позволило снизить максимальную нагрузку на опору ДОУ на 27% и обеспечить значения нагрузок на остальные опоры ДОУ менее допускаемых.