

Проектирование и конструкция судов

Научная статья

УДК 629.5.075

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/23-31>

А.А. Гутник, С.О. Климов, А.П. Герман

ГУТНИК АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ – старший преподаватель, gutnik.aa@dvfu.ruGERMAN ANDREY PETROVICH – старший преподаватель, german.ap@dvfu.ru,<http://orcid.org/0000-0002-9530-5258>

Отделение машиностроения, морской техники и транспорта

Инженерного департамента Политехнического института

*Дальневосточный федеральный университет*КЛИМОВ СЕРГЕЙ ОЛЕГОВИЧ – руководитель группы мореходных качеств, liminid@mail.ru

ООО «ВладСудоПроект»

Владивосток, Россия

Способ снятия судна с илистого грунта

Аннотация. Разработана методика решения задач прогнозирования деформированной формы пластины с испоПри посадке судна на илистый грунт возможно появление эффекта прилипания. Если вовремя не устранить данный эффект, то судно может быть затоплено приливом. В статье предлагается метод по определению силы удержания на грунте. Показана возможность использования силы избыточного поддержания (сила плавучести), появляющейся при сверхнормативном погружении судна выше грузовой ватерлинии, и метод её определения для конкретного случая нагрузки судна. Исследована взаимосвязь сил удержания на грунте при различной его липкости с учетом проседания корпуса судна в грунт и сил избыточного поддержания. Составлен график необходимого процента уменьшения площади соприкосновения корпуса судна с грунтом для обеспечения всплытия судна (нивелирования эффекта прилипания) за счет силы избыточного поддержания. Предложены конструктивные и организационные мероприятия и меры по обеспечению снятия судна с грунта. Составлены рекомендации и представлена последовательность действий при снятии судна с грунта методом промывки или продувки корпуса судна.

Ключевые слова: осушение на грунте, снятие с грунта, илистый грунт, силы поддержания, эффект прилипания, липкость

Для цитирования: Гутник А.А., Климов С.О., Герман А.П. Способ снятия судна с илистого грунта // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 4(53). С. 22–23.

Введение

Для проведения грузовых операций довольно широко используются суда, осушаемые на грунте. Особенно это характерно для устьев рек и районов, где наблюдаются приливы с резкими перепадами уровня воды. Такая практика как наиболее рациональный путь доставки припасов, оборудования и грузов используется и особенно важна для освоения удаленных регионов России – Дальнего Востока и Крайнего Севера [1].

В районах с большими перепадами уровня воды в результате приливов и отливов судно, вставая на грунт, осушается полностью [2]. В районах с илистым грунтом судно при постановке на грунт в результате адгезии может к нему «прилипнуть». Если вовремя не устранить данный эффект и не снять судно с грунта, то в случае прилива, если высота подъема воды будет выше борта судна, оно может быть затоплено. Особенно сильный эффект прилипания

будет наблюдаться на судах с плоским днищем из-за большей площади контакта грунта с корпусом судна.

Цель данной работы – предложить конструктивные и организационные мероприятия по очистке корпуса судна от грунта. Для достижения поставленной цели прежде всего необходимо:

- определить зависимость сил удержания на грунте от площади днища и бортов судна, подвергающихся адгезии при различной липкости грунта;
- выявить необходимый процент минимального уменьшения площади контакта судна с грунтом, дающий возможность всплытия судна для грунтов с различной липкостью, при различных осадках. Необходимо отметить, что в качестве объекта исследования выбран упрощенный прямоугольный понтон. Рассмотрены и учитываются не сумма сил, а только силы прилипания. Так как представлена только сама концепция, производительность и мощность насосов на данном этапе исследования не рассматривались.

Определение сил удержания на грунте

Силы удержания на грунте зависят от липкости грунта и площади его соприкосновения с корпусом судна. Липкость грунта – способность грунта при определенной влажности прилипать к поверхности различных предметов. Классификации грунтов [4] и глинистых грунтов [3] по липкости приведены в табл. 1 и 2.

По сравнению с липкостью глинистых грунтов липкость песков и супесей ничтожна и изменяется от 20–30 до 500–550 г/см² (наиболее часто 50–200 г/см²).

Таблица 1

Классификация липкости грунтов

Грунты	Величина липкости, г/см ²
Очень слабо-липкие	0,2
Слабо-липкие	0,5
Липкие	1,0
Средней липкости	2,0
Сильно-липкие	5,0

Таблица 2

Классификация липкости глинистых грунтов

Глинистые грунты	Величина липкости, г/см ²
Неприлипаемые	$q < 50$
Слабо-прилипаемые	$50 < q < 100$
Средне-прилипаемые	$100 < q < 250$
Сильно-прилипаемые	$q > 250$

Расчеты произведены для гипотетического прямоугольного понтона со следующими характеристиками:

длина L, м	60	осадка (для D) T, м	2,5
ширина B, м	20	полное водоизмещение D, т	3075
надводный борт f, м	1,5	осадка (для D ₀) T, м	1,5
высота борта, м	4	водоизмещение порожнем D ₀ , т	1845.

Силу удержания на грунте можно определить по формуле (кН):

$$F_{уд} = q \cdot S \cdot g,$$

где q – липкость грунта, т/м²;

S – площадь соприкосновения корпуса судна с грунтом, м²;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Представлен расчет сил удержания на грунте в зависимости от глубины проседания корпуса судна в грунт и его липкости (табл. 3).

Таблица 3

Расчет сил удержания на грунте

Глубина увязания в грунте h, м		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
S бортов и стенок, м ²		0,0	8,0	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0	56,0	64,0	72,0	80,0
S общ, м ²		1200,0	1208,0	1216,0	1224,0	1232,0	1240,0	1248,0	1256,0	1264,0	1272,0	1280,0
		F _{уд} , кН										
Липкость, г/м ²	15,0	176580	177757	178934	180112	181289	182466	183643	184820	185998	187175	188352
	13,0	153036	154056	155076	156097	157117	158137	159157	160178	161198	162218	163238
	11,0	129492	130355	131219	132082	132945	133808	134672	135535	136398	137262	138125
	9,0	105948	106654	107361	108067	108773	109480	110186	110892	111599	112305	113011
	7,0	82404	82953	83503	84052	84601	85151	85700	86250	86799	87348	87898
	5,0	58860	59252	59645	60037	60430	60822	61214	61607	61999	62392	62784
	3,0	35316	35551	35787	36022	36258	36493	36729	36964	37200	37435	37670
	1,0	11772	11850	11929	12007	12086	12164	12243	12321	12400	12478	12557
	0,80	9418	9480	9543	9606	9669	9732	9794	9857	9920	9983	10045
	0,60	7063	7110	7157	7204	7252	7299	7346	7393	7440	7487	7534
	0,40	4709	4740	4772	4803	4834	4866	4897	4929	4960	4991	5023
	0,20	2354	2370	2386	2401	2417	2433	2449	2464	2480	2496	2511
	0,10	1177	1185	1193	1201	1209	1216	1224	1232	1240	1248	1256

Определение сил избыточного поддержания

В противовес силам присасывания можно поставить избыточную силу поддержания, возникающую при принудительном погружении судна выше грузовой ватерлинии, при данной загрузке судна и равной (кН):

$$F_{и.п.} = \gamma \cdot (V_1 - V) \cdot g,$$

где γ – плотность воды, $г/см^3$;

V_1 – объемное водоизмещение при действующей осадке судна, $м^3$;

V – объемное водоизмещение при наибольшей осадке судна, $м^3$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Расчетные данные представлены в табл. 4, где $\Delta T_{и.п.}$ – величина превышения наибольшей осадки судна при определенной загрузке.

Однако следует помнить, что сверхнормативное погружение судна опасно, вплоть до гибели судна, если к моменту, когда уровень воды достигнет высоты борта судна, сила удержания не сравняется с силой избыточного поддержания. Поэтому целесообразно оставлять некий запас плавучести, в данном примере равный 1 м.

Таблица 4

Зависимость силы избыточного поддержания от сверхнормативного погружения судна

$F_{и.п.}$, кН	0	3620	7240	10860	14480	18099	21719	25339	28959	33786
$\Delta T_{и.п.}$, м	0	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,80

Определение взаимосвязи силы удержания на грунте и силы избыточного поддержания

Используя соответствующие расчеты, можно построить график зависимости силы избыточного поддержания и силы удержания на грунте от глубины проседания судна в грунте и его липкости (рис. 1). Точка пересечения силы избыточного поддержания и силы удержания характеризует точку, при которой судно должно всплыть за счет избыточной силы поддержания.

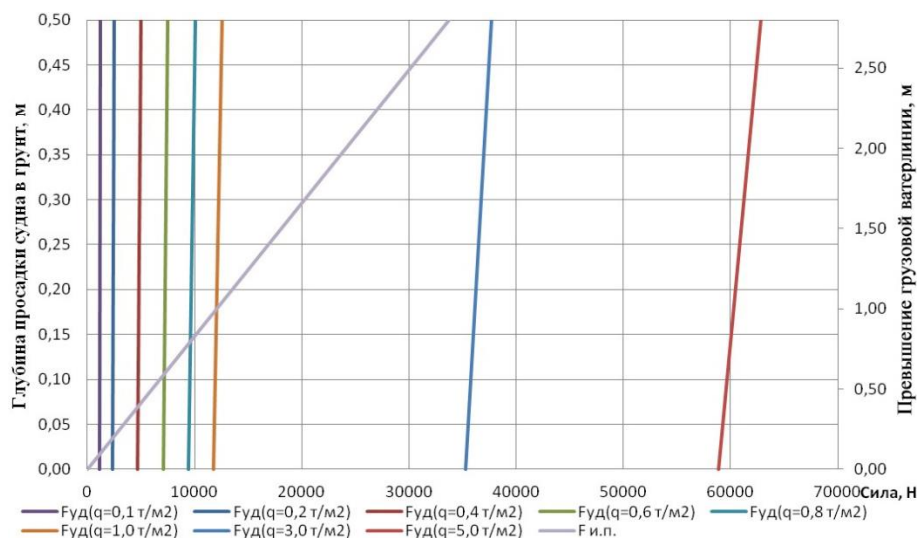


Рис. 1. График зависимости силы избыточного поддержания и сил удержания на грунте от глубины просадки судна в грунте и его липкости

Представлены графики сил удержания при уменьшении площади соприкосновения корпуса судна и грунта на 75%, 50% и 25% для некоторых липкостей (рис. 2).

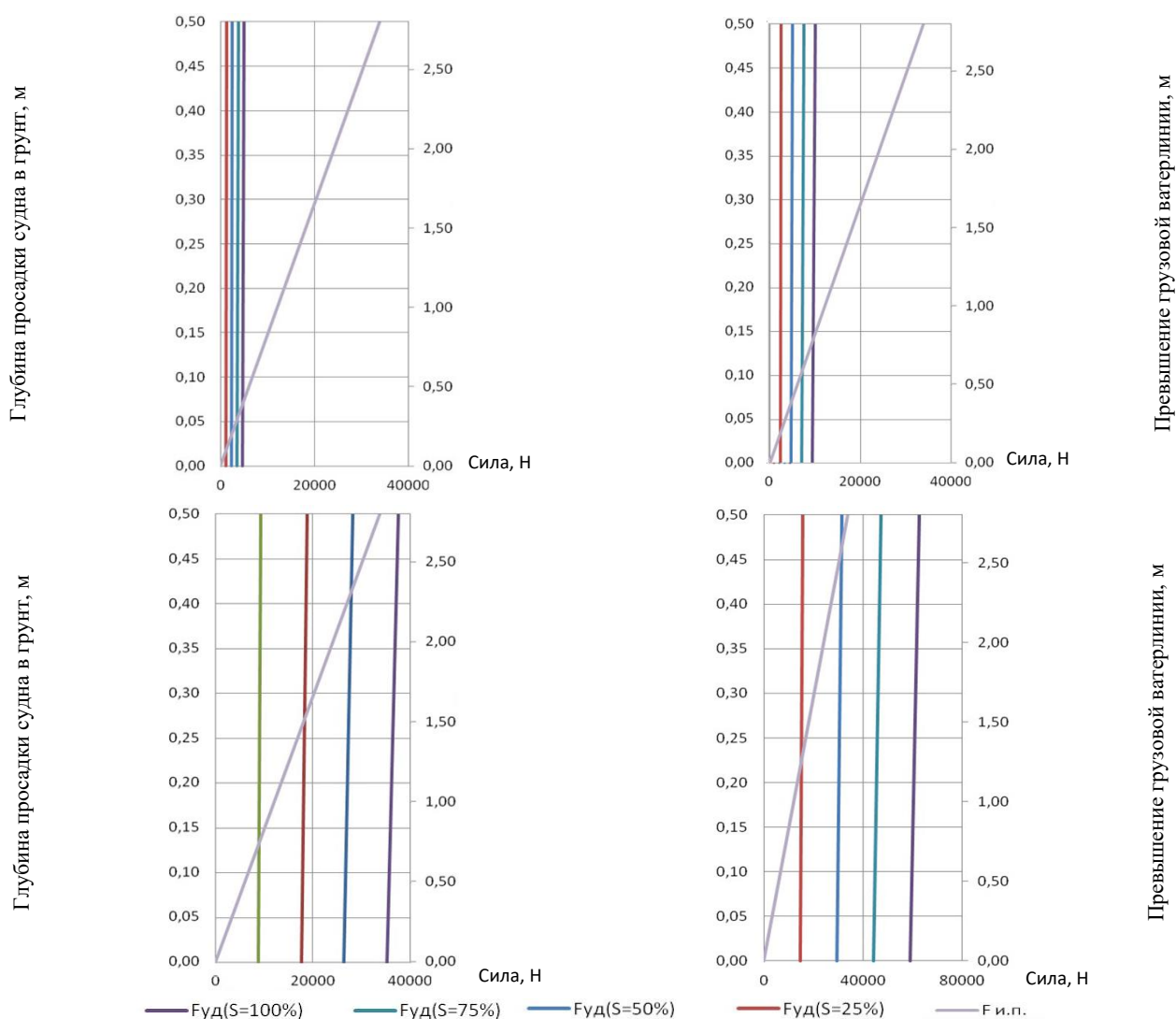


Рис. 2. Графики зависимости силы удержания при уменьшении площади соприкосновения корпуса судна и грунта при липкости, г/см²: а – 40; б – 80; в – 300; г – 500

На графике с данными по необходимому проценту уменьшения площади соприкосновения ($S\%$) корпуса судна с грунтом при приращении избыточной осадки на 0,5 и 1,5 м и различном проседании корпуса судна в грунт верхние кривые характеризуют рекомендованное предельное положение погружения для судна в полном грузу при $T = 2,5$ м, когда запас плавучести составляет 1 м, а величина допустимого сверхнормативного погружения – 0,5 м (рис. 3). Нижние кривые характеризуют предельное рекомендованное положение погружения для судна порожнем при $T = 1,5$ м, когда запас плавучести составляет 1 м, а величина допустимого сверхнормативного погружения – 1,5 м.

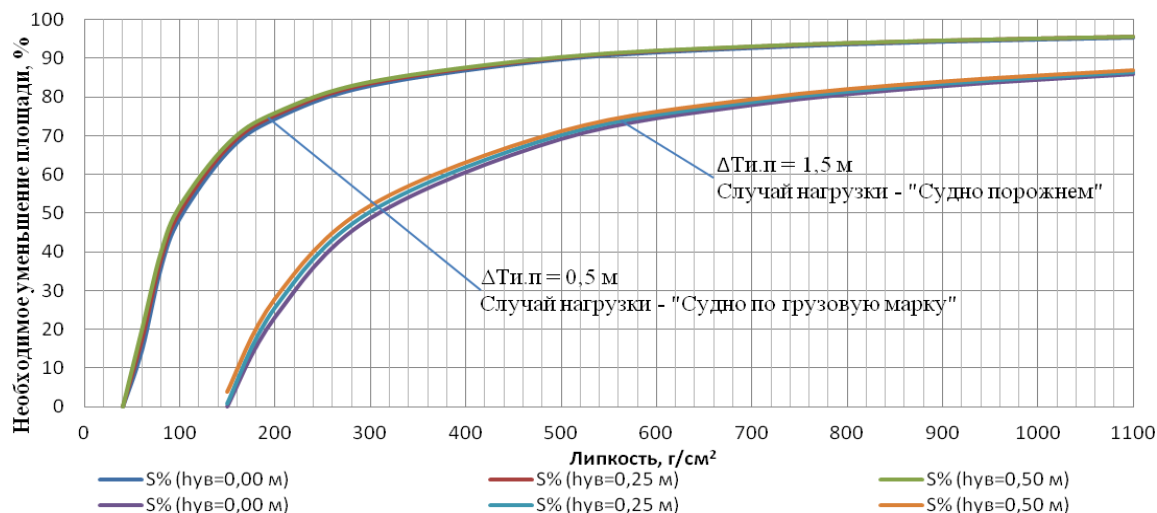


Рис. 3. Процент необходимого уменьшения площади соприкосновения корпуса судна с грунтом при приращении избыточной осадки на 0,5 и 1,5 м

Возможные конструктивные и организационные мероприятия для уменьшения площади соприкосновения корпуса судна с грунтом

Для устранения эффекта прилипания как один из вариантов может быть использована среда, нагнетаемая под давлением под днище судна. Она вытеснит ил и грунт из-под корпуса судна, уменьшив их площади соприкосновения, что ослабит или нивелирует адгезию, позволяя судну всплыть. Здесь представлены некоторые конструктивные и организационные варианты для устранения эффекта прилипания при помощи среды, нагнетаемой под давлением. Для визуализации будет использоваться плоское днище малого судна с носовой аппарелью (рис. 4).

Продувочные отверстия в корпусе

Для устранения эффекта прилипания под днище судна может нагнетаться вода или воздух через продувочные отверстия, находящиеся в днище. Для этого необходим монтаж самих отверстий с клапаном и магистрали до компрессора или насоса (рис. 4).

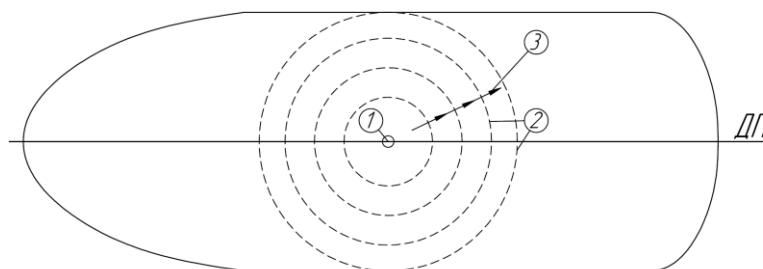


Рис. 4. Схема расположения отверстий и распространения нагнетаемой среды: 1 – выпускное отверстие; 2 – районы распространения; 3 – линия распространения; ДП – диаметральная плоскость

На схеме представлен идеализированный случай, при котором скорости распространения среды по всем направлениям от центра выпускных отверстий равны. На самом деле скорости могут различаться, а зоны распространения, ввиду наличия неровностей дна и грунта, камней, взвесей и ила различной плотности на разных участках, по форме будут отличаться от круга.

При нагнетании среды под давлением под днище она начнет вытеснять суспензию от центра распространения. Когда среда вытеснит последний слой суспензии по периметру плоской части дна, произойдут прорыв нагнетаемой подушки и резкая потеря давления. В этот момент площадь соприкосновения дна судна и грунта будет минимальной.

При наличии одного отверстия для контура, представленного на рис. 4, уменьшение площади соприкосновения дна и ила составит 33%. При наличии двух отверстий для такого же контура уменьшение площади соприкосновения дна и ила составит уже 65%; трех – 89% (рис. 5 а, б). Если количество отверстий увеличить до 11 и расположить их симметрично, то уменьшение площади соприкосновения дна и ила составит уже 93% (рис. 5в). При увеличении количества отверстий от 3 до 11 (почти в 4 раза), разница между величинами уменьшения площади соприкосновения дна и грунта составит лишь 4%.

Однако при сравнении рисунков 5б и 5в можно заметить, что площадь зоны давлений, созданная одним отверстием, уменьшится примерно в 3 раза, или на 67%. Пропорционально площади уменьшится и давление, особенно в районах, наиболее удаленных от отверстий распространения (по периметру контура судна). Так, при меньшем давлении, ввиду неоднородности суспензии (ила и взвесей), фигура зоны распространения будет значительно отличаться от круга и приблизится к коридору, по которому среда вытеснения по пути наименьшего сопротивления дойдет до края контура и прорвет его; при этом уменьшение площади соприкосновения корпуса судна и суспензии будет минимальным.

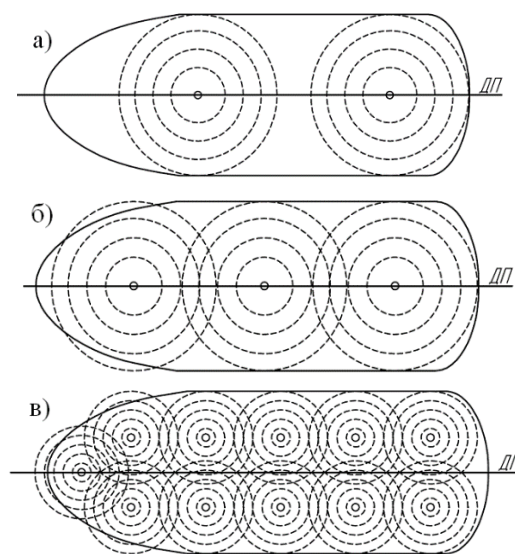


Рис. 5. Схема расположения отверстий и распространения нагнетаемой среды: а – 2 отверстия; б – 3 отверстия; в – две линии отверстий (11 шт.)

Поэтому расположение продувочных отверстий, как на рис. 5в, более рационально. При таком расположении продувочных отверстий коридоры отверстий непременно будут пересекаться, что уменьшит площадь соприкосновения дна корпуса судна и ила и в достаточной степени ослабит адгезию, позволяя судну всплыть.

Исходя из вышесказанного необходимы исследования по определению количества отверстий, мест их расположения, начального давления, при которых будет наблюдаться наибольший эффект при минимальных затратах и конструктивных изменениях. Так как необходимо производить монтаж для каждого отверстия и магистрали, в целях обеспечения большего начального давления следует увеличивать мощность насосов или компрессоров.

Предлагаемые конструкция и компоновка продувочного отверстия (рис. 6) показывают, что необходимо обеспечить возможность поворота насадки вокруг вертикальной оси для более результативной промывки корпуса. Купол необходим для защиты насадки при посадке судна на грунт.

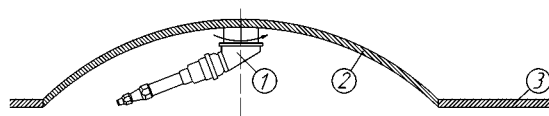


Рис. 6. Конструкция продувочного отверстия:
1 – управляемая насадка; 2 – монтируемый купол; 3 – днище судна

Организационные мероприятия

Продувка корпуса может производиться и без монтажа продувочных отверстий в днище судна. Для этого необходимы компрессор или насос, а также несколько гибких рукавов, желательно с телескопической насадкой, для более дальнего размещения точки распространения среды к диаметральной плоскости (ДП) судна (рис. 7).

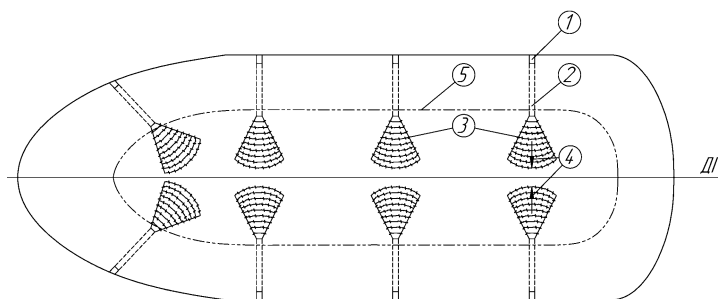


Рис. 7. Схема гибких рукавов и зон распространения нагнетаемой среды:
1 – конец гибкого рукава; 2 – телескопическая насадка; 3 – начальная зона распространения среды; 4 – начальное направление распространения среды; 5 – результирующая область образовавшейся подушки

Концы рукавов заводятся под днище судна таким образом, чтобы они были направлены к ДП. После заводки рукавов начинается процесс нагнетания среды под днище судна. Так как насадки всех рукавов направлены к ДП, то и первичная зона вытеснения будет распространяться в первую очередь именно к ДП. После соединения областей от разных рукавов образуется общая зона вытеснения, которая впоследствии будет распространяться к краю контура днища.

Преимуществом данного способа является направленность создания первичной зоны вытеснения, позволяющая освободить большую площадь днища судна от ила до момента прорыва подушкой контура днища. Минусом же являются сложность выполнения работ с борта судна, сложность заводки концов рукавов под днища и выбор их ориентации.

Рукава можно хранить на борту судна и использовать лишь при необходимости, что влечет за собой наличие подготовительного этапа развертки рукавов и удлинение всей операции по снятию судна с илистого грунта.

Для осуществления промывки корпуса необходимо, чтобы средняя скорость воды была больше, чем представленная в табл. 5.

Таблица 5

Средняя скорость воды

Порода грунта	Размер частиц грунта, мм	Средняя скорость воды, м/с
Ил	До 0,05	0,3
Песок мелкий	0,02–0,25	0,4
Песок средний	0,25–1,0	0,7
Песок крупный	1,0–2,5	0,8
Гравий мелкий	2,5–5,0	0,9
Гравий средний	5,0–10	1,2

Показанные скорости характеризуют величину, при которой начинается размывка грунта. Скорость же вытеснения зависит от скорости истечения, диаметра выпускных отверстий и их количества. Можно говорить, что объем грунта, вытесненный в единицу времени, равен суммарному объему расхода среды всех выпускных отверстий в эту же единицу времени.

Зная величину необходимого процента уменьшения площади соприкосновения корпуса судна с грунтом и высоту канала промывания, можно рассчитать производительность насосов для обеспечения промывки с учетом времени прилива и с учетом запаса по времени.

Рекомендации и последовательность действий при снятии судна с грунта методом продувки корпуса судна

На судне должны быть график зависимости площади контакта корпуса судна с грунтом в зависимости от его просадки в грунт и график сил удержания на грунте в зависимости от его липкости и площади контакта.

Последовательность действий при снятии судна:

- а) проведение изысканий по определению предполагаемой липкости грунта в предполагаемом месте посадки судна на грунт, в зависимости от его влажности, погодных условий и времени года;
- б) операции по посадке судна на грунт;
- в) проверка целостности наружной обшивки;
- г) экспериментальное, приблизительное определение липкости грунта после осуществления операций по осушению судна;
- д) определение просадки судна в грунт по маркам углубления;
- е) расчет необходимой минимальной площади уменьшения контакта корпуса судна с грунтом;
- ж) подготовка устройств и систем для промывки корпуса судна;
- з) обеспечение водонепроницаемости наружной обшивки, верхней палубы;
- и) осуществление промывки корпуса судна.

Промывку рационально начинать при приливе в целях использования забортной воды. Также вода будет способствовать уменьшению площади контакта судна с грунтом.

Заключение

На основе рисунков 1 и 3 можно говорить о том, что при липкостях до 50 г/см^2 в случае нагрузки «судно порожнем» и при липкостях до 140 г/см^2 при нагрузке «судно по грузовой марку» судно может всплыть самостоятельно при превышении наибольшей осадки соответственно на 0,5 и 1,5 м (для данного теоретического понтона).

Полученные данные позволяют сделать вывод, что опасность для судна представляет высадка только на илистые и глинистые грунты, обладающие наибольшей липкостью. Осушения на таких грунтах следует избегать.

Детальная проработка и описание процессов функционирования предложенных механизмов возможны в дальнейших исследованиях; в данной статье даны общие конструктивные и организационные мероприятия и рекомендации по снятию судна с грунта.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Азовцев А.И., Кулеш В.А., Огай А.С., Петров В.А. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах Арктических и Субарктических морей // Полярная механика. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. Вып. 3. С. 450–460.
2. Герман А.П., Кулеш В.А., Фам Ч.Х. Разработка схем усиления судна для взаимодействия с грунтом // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. Т. 12, №5. С. 915–925. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-915-925

3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2018.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095052> (дата обращения: 21.06.2022).
4. Рекомендации по определению липкости грунтов в стационарных лабораторных и полевых условиях. ПНИИС Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1983.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 4/53

Ship Design, Construction of Vesselswww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/23-31>

Gutnik A., Klimov S., German A.

ALEXEY A. GUTNIK, Senior Lecturer, a_name@mail.ruANDREY P. GERMAN, Senior Lecturer, german.ap@dvfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9530-5258>

Polytechnic Institute

Far Eastern Federal University

SERGEY O. KLIMOV, Head of the Seaworthiness Group, liminid@mail.ru

VladSudoProject LLC

Vladivostok, Russia

Method for removing a vessel from muddy ground

Abstract. When landing a vessel on muddy ground, a sticking effect may occur. If this effect is not eliminated in time, the ship may be flooded by the tide. The article proposes a method for determining the holding force on the ground. The possibility of using the excess support force (buoyancy force), which appears when the ship is above the load waterline, and the method of its determination for a specific case of the ship's load, is shown. The interrelation of the forces of retention on the ground at its different stickiness is studied, taking into account the subsidence of the ship's hull into the ground and the forces of excessive buoyancy. A schedule has been drawn up of the required percentage reduction in the area of contact between the ship's hull and the ground to ensure the ascent of the ship (leveling the sticking effect) due to the forces of excessive buoyancy. Proposed constructive and organizational measures and measures to ensure the removal of the ship from the ground. Recommendations are made and a sequence of actions is presented when removing the ship from the ground by washing or blowing the ship's hull.

Keywords: dewatering on the ground, removal from the ground, silty ground, support forces, buoyancy, sticking effect, stickiness, the effect of adhesion, muddy ground, muddy bottom

For citation: Gutnik A., Klimov S., German A. Method for removing a vessel from muddy ground. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(4):23–31. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Azovtsev A.I., Kulesh V.A., Ogay A.S., Petrov V.A. Development of vessels for cargo operations on the unequipped shores of the Arctic and Subarctic seas. *Polar Mechanics*. Vladivostok, Far Eastern Federal University, 2016. Iss. 3. P. 450–460. (In Russ.).
2. German A.P., Kulesh V.A., Pham Trung Hiep. Development of the vessel strengthening schemes for ground contact. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2020;12(5):915–925. (In Russ.). DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-915-925.
3. GOST 25100-2011. Soils. Classification. Moscow, Standartinform, 2018.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095052> – 21.06.2022. (In Russ.).
4. Recommendations for determining the stickiness of soils in stationary laboratory and field conditions. PNIIS GCosstroy USSR. Moscow, Stroyizdat, 1983. (In Russ.).