

## РАСЧЁТ БОКОВЫХ КЛЕТОК ПРИ СМЕЩЕНИИ СУДНА В ДОКЕ

*В работе решена задача определения реакций боковых клеток при смещении диаметральной плоскости (ДП) судна относительно ДП докового опорного устройства (ДОУ). Реакция каждой отдельной клетки, с учётом её индивидуальных характеристик, рассчитывается из условий статического равновесия судна и зависимостей, связывающих реакции и просадки доковых опор. При традиционном же подходе к расчёту все клетки одного борта заменяются одной точечной опорой, а для определения их минимального количества нормативно вводится коэффициент неравномерности.*

*Для условного транспортного судна водоизмещением 5000 т выполнено шесть вариантов расчёта, отличающихся углами килеватости днища — как одинаковыми в районе установки клеток, так и увеличенными в оконечностях. Количество клеток во всех вариантах составляет пять пар. Смещения судна варьировались от 0 до 500 мм, что соответствует реально возможным величинам. Представлены зависимости реакций отдельных клеток обоих бортов от величины смещения. Кренящие моменты, вызываемые другими причинами, не рассматривались. Показано, что даже при умеренных смещениях коэффициент неравномерности нагрузок на клетки может намного превышать нормативные значения. Наиболее неблагоприятны сочетания клеток с малыми углами наклона и значительным удалением от ДП в средней части судна и крутых, расположенных ближе к ДП клеток в оконечностях.*

*Ключевые слова: доки, доковое опорное устройство, боковые клетки, кренящие моменты, опорные реакции, коэффициент неравномерности.*

### Введение

Постановка судов в док на килевую дорожку и боковые клетки получила более широкое распространение по сравнению со способами, предполагающими использование бортовых распор, механизированных балочных опор и др. Принципы проектирования и конструирования ДОУ в нашей стране регламентируются отраслевым руководящим документом [1]. Он предусматривает, что, как правило, килевая дорожка должна рассчитываться на восприятие нагрузки от докового веса судна, а клетки должны предохранять его от опрокидывания. Этот же принцип был заложен в более ранний документ [2] и развивался Г. Н. Финкелем в монографии [3].

Нормативные документы допускают возможность в особых случаях передавать часть нагрузки от докового веса на клетки, что мы здесь не будем обсуждать, поскольку этот вопрос выходит за рамки данной работы и заслуживает отдельного рассмотрения. Отметим, что в работе [4] утверждается, что, с другой стороны, килевая дорожка способна воспринять значительный кренящий момент. Но этот вывод получен без учёта совместной работы килевой дорожки и клеток и в большинстве случаев является ошибочным.

В отечественной практике принято считать, что кренящий момент для судна, стоящего в доке, складывается из момента от смещения относительно ДОУ, ветровой нагрузки на силуэт судна, выступающий из дока, а в плавучем доке — ещё и момента от крена дока. Если предположить, как указано ранее, что в исходном состоянии клетки не несут нагрузки, а лишь касаются судна, то в результате приложения кренящего момента  $M_{кр}$  будут работать клетки одного борта, их суммарная реакция

$$R'_{кл} = \frac{M_{кр}}{y_{кл}},$$

где  $y_{кл}$  — среднее расстояние от центра клеток до центра килевой дорожки.

Количество пар клеток не должно быть меньше частного от деления этой реакции на допускаемую нагрузку на одну клетку, умноженного на коэффициент неравномерности (КН). Согласно [1], этот коэффициент принимается равным: для судов плоскодонных и с небольшой килеватостью — 1,4 при доковом водоизмещении до 5000 т и 1,2 — свыше 5000 т; для судов

с углом килеватости свыше 0,10 — 1,5 при доковом водоизмещении до 3000 т и 1,3 — свыше 3000 т.

Следует отметить, что в американской практике [5], [6] возможность смещения и появления в связи с ним дополнительного кренящего момента не рассматривается. Кренящий момент от ветра определяется применительно к его скорости 100 уз (51,4 м/с). В популярно и подробно составленном руководстве для докмейстера и других специалистов, занятых докованием [6], освещаются, в частности, такие факторы, оказывающие влияние на распределение реакций доковых опор, как неодинаковая высота и жёсткость доковых опор, переменная ширина горизонтального киля, несоответствие абсциссы центра тяжести (ЦТ) опорной поверхности абсциссе ЦТ судна, возможная непрямолинейность килевой линии судна, но нагрузки, обусловленные смещением судна, не упоминаются. Кстати, не предусмотрен также явный учёт неравномерности опорных реакций кильблоков и клеток, хотя, например, в работе [7] уделено внимание роли неопределённых факторов. При этом чрезвычайно важная роль отводится сейсмическим нагрузкам. Предполагается, что они вызывают появление горизонтального ускорения в ЦТ судна, равного 0,2g, и соответствующей силы инерции. Практически именно кренящим моментом от сейсмической нагрузки определяется минимально необходимое количество клеток, хотя вероятность того, что во время стоянки судна в доке произойдёт землетрясение, исчезающе мала, тогда как вероятность расчётного смещения (0,3 м) достаточно велика (согласно выполненным нами измерениям в доках Дальзавода для более чем 400 доковых постановок — 8 %). Представляется сомнительным, что импульсное воздействие при землетрясении (в виде «кинематического возбуждения», т. е. не приложенной нагрузки, а горизонтального перемещения опоры, величина которого вряд ли будет велика) способно вызвать опрокидывание судна, стоящего в доке. Необходимость учёта сейсмических воздействий, особенно для подводных лодок, которые имеют небольшую ширину и высоко расположенный ЦТ, связывается с повышенной сейсмической опасностью районов, в которых эти лодки ремонтируются [8], [9].

При постановке крупнотоннажных судов в сухие (не в плавучие!) доки на несколько дорожек проблемы неравномерности нагрузок на боковые опоры, видимо, не существует, вместо неё возникает проблема оптимальной (рациональной) расстановки доковых опор [10], но в плавучих доках как при одиночных, так и при групповых постановках отмечаются определённые сложности [11].

Попутно отметим, что в американских руководствах предполагается, что клетки двух бортов при отсутствии кренящего момента воспринимают около 15 % от докового веса судна, хотя меры по начальной разгрузке клеток не предусмотрены.

Далее мы не будем учитывать ветровую нагрузку, но укажем следующее. Сравнить отечественный и зарубежный (американский) подходы к определению ветровой нагрузки довольно затруднительно. В России в площадь парусности включаются только проекции поверхностей судна, выходящие за габариты дока, в США по неясной причине полностью учитывается площадь, считая от киля. Расчётное давление ветра по американским правилам составляет 1287 Па при скорости ветра 51,4 м/с, по отечественному руководящему документу [1] для расчёта количества клеток, при скорости ветра 29 м/с, но с добавлением поправочных коэффициентов — 1783 Па; по правилам Регистра [12] при расчёте остойчивости доков — 1300 Па для наиболее тяжёлых климатических условий (7-й географический район). Различны и предельно допустимые давления на клетки, набранные из бруса хвойных пород (2,07 МПа — в США, 1,4 МПа — в России).

От количества клеток и их конструкции, в значительной степени, зависят трудоёмкость и стоимость подготовки (и последующего демонтажа) ДОУ. Перегрузка отдельных клеток может привести к повреждению днища докуемого судна или стпель-палубы плавучего дока. Это позволяет считать актуальной задачу более детального анализа работы клеток в составе ДОУ.

Автору неизвестны отечественные или зарубежные исследования, в которых бы определялись реакции каждой клетки с учётом её индивидуальных характеристик. Методика такого расчёта была разработана нами. Она рассматривает каждую клетку как точечную линейно деформируемую опору и позволяет учитывать отстояние клетки от ДП, высоту её деревянной подушки и угол наклона к горизонту [13] – [15]. Программа позволяет задавать смещения носовой и кормо-

вой оконечностей и получать реакции клеток обоих бортов, их просадки, угол крена судна. Возможны случаи, когда судно из-за смещения не касается некоторых клеток, при этом их реакции получаются нулевыми.

В предлагаемой работе рассматривается только вопрос о реакциях клеток при смещении ДП судна относительно ДП ДОУ. Восстанавливающий момент, создаваемый килевой дорожкой, в случаях, представляющих практический интерес, на два порядка меньше, чем момент от клеток. Далее он не учитывается, поскольку вносимая погрешность несравненно меньше погрешности исходных данных. Моменты, обусловленные ветровой нагрузкой на судно и плавучий док, приводят к изменению реакций клеток, пропорциональному их отстоянию от ДП (при условии равенства коэффициентов жёсткости). Это изменение нетрудно учесть [13] – [15]. Мы не будем обсуждать нормативные смещения и значения ветровой нагрузки. Отметим лишь, что, согласно имеющимся данным, вероятность нормативной ветровой нагрузки значительно меньше, чем вероятность расчётного смещения. Более подробно этот вопрос рассматривается в монографии [15].

### Постановка задачи

Традиционный подход к расчёту клеток заключается в том, что все клетки каждого борта заменяются одной точечной опорой, расстояние которой от ДП равно среднему для клеток одного борта, а коэффициент жёсткости (КЖ) равен сумме КЖ этих клеток. Аналогично точечной опорой заменяется килевая дорожка. Угол наклона клеток к горизонту в этой схеме не фигурирует, а высоты деревянных подушек в итоге определяют общий КЖ.

Мы же будем считать точечной опорой каждую клетку. Будем характеризовать клетку следующими параметрами: площадью, отстоянием от ДП, высотой деревянной подушки и углом наклона к горизонту. Предполагаем, что реакция клетки связана с её просадкой законом Гука; если судно не касается какой-либо клетки, её реакция равна нулю. Отметим, что для более детального анализа клетка может быть разбита, к примеру, на четыре или девять точечных опор. Тогда появится возможность оценить неравномерность нагрузки в пределах одной клетки.

Пусть судно, имеющее некоторую килеватость, смещено на правый борт (ПБ) без крена на величину  $b$ , как показано на рис. 1 жирными сплошными линиями. Пунктиром показано судно без смещения, а стрелками — клетки двух бортов. В исходном состоянии, без нагрузки, клетки не имели бы просадки (стрелки касаются пунктирных линий). Из-за смещения клетка ПБ получит просадку, равную  $b \cdot \operatorname{tg} \beta$ , где  $\beta$  — угол килеватости, а между судном и клеткой левого борта (ЛБ) появится зазор такой же величины.

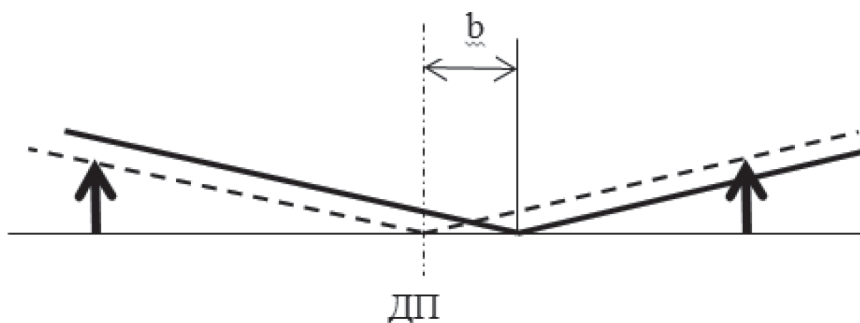


Рис. 1. Смещение судна без крена

Под нагрузкой от докового веса ДОУ в целом получает некоторую просадку, и все клетки при отсутствии смещения будут нагружены пропорционально их КЖ. Тогда смещение без крена вызовет перераспределение реакций: клетки ПБ получат дополнительную нагрузку, а клетки ЛБ разгрузятся на такую же величину. Возникнет момент, по знаку противоположный кренящему (восстанавливающий момент). Под действием этого момента судно получит обратный крен, его центр тяжести (ЦТ) сместится на ЛБ и суммарный кренящий момент уменьшится. Составив урав-

нения просядок (геометрические) и моментов, можно рассчитать реакции всех клеток обоих бортов, на чём мы не останавливаемся, отсылая читателя к [13].

Г. Н. Финкель [1], [3] для судов, имеющих значительную ( $\text{tg}\beta > 0,1$ ) килеватость, при определении необходимого количества клеток принимает этот угол равным  $4^\circ$  (угол крена, допускаемый Правилами Регистра [12, ч. IV, разд. 4.3] для плавучих доков), независимо ни от действительного угла килеватости, ни от расположения и жёсткости клеток. В предлагаемой методике этот угол рассчитывается.

### Примеры расчётов

Рассмотрим некоторые характерные примеры. Но предварительно отметим, что КЖ доковой опоры прямо пропорционален модулю упругости древесины подушки  $E_d$ . Для подушек из бруса хвойных пород, согласно [1], [3],  $E_d = 60$  МПа. Это или близкие значения можно найти в ряде других литературных источников. Но наши массовые натурные измерения [16] дают совершенно иные результаты — 10 – 15 МПа, большее значение характерно для доковых постановок в зимнее время, когда влага внутри брусьев превращается в лёд. Далее будут использоваться наши экспериментальные значения модуля упругости; если же брать нормативные данные, влияние смещения будет намного более опасным. Заметим также, что модуль упругости древесины — понятие достаточно условное, оно используется для упрощения и удобства расчётов. Фактически эта величина крайне изменчива по причинам разброса механических характеристик древесины, нелинейности диаграммы её деформации, ползучести и др.

**Пример 1.** Плоскодонное судно доковым водоизмещением 5000 т и длиной 120 м опирается на 15 кильблоков и 5 пар клеток, размеры всех опор в плане  $1,5 \times 1,5$  м, высота деревянной подушки всех опор 300 мм, модуль упругости принят равным 12 МПа. Отстояния клеток от ДП указаны в таблице. Зависимости реакций клеток (слева — левого борта, справа — правого) от величины смещения на ПБ изображены на рис. 2, здесь же показаны реакции, приходящиеся на один кильблок. Нагрузка, воспринимаемая килевой дорожкой, в этом и двух следующих вариантах не зависит от смещения судна.

### Характеристики клеток

Номера клеток	1	2	3	4	5	Кильблоки
$y_p$ , м	3,0	5,0	6,0	5,0	3,0	0
$b_p$ , град.	20	2	2	2	20	0
$h_p$ , мм	300	300	300	300	800*	300
$x_p$ , м	33	21,5	1	-17	-26,5	0

*Примечание.* Три последние строки относятся к примерам 5, 6 (\*высота для примеров 1 – 4 — 300 мм). Эти данные частично соответствуют примеру из работы [5].

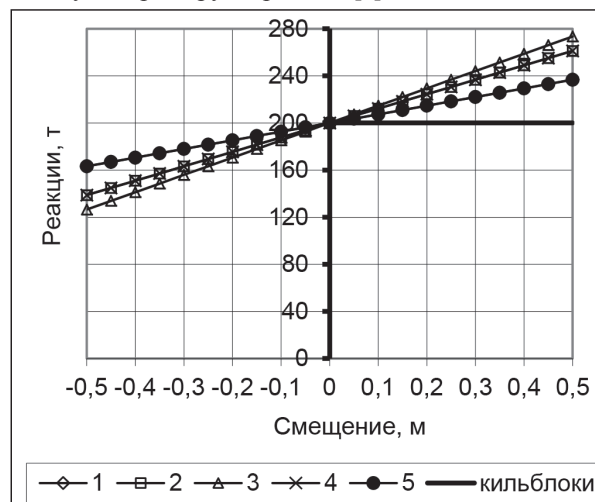


Рис. 2. Изменение реакций клеток плоскодонного судна при смещении. Цифры указывают номера клеток

Расчётное смещение, заложенное в нормативном документе [1], составляет 300 мм. Наши наблюдения в доках показывают, что в отдельных случаях смещения могут достигать 500 – 600 мм. Согласно рис. 2, при смещении 500 мм реакции клеток изменяются на 20 – 40 %, тем сильнее, чем дальше клетка отстоит от ДП. При таком смещении крен судна на правый борт составил 0,00136 рад, или 0,08°. Из-за крена ЦТ судна (при аппликате  $z_g = 7$  м) смещается вправо почти на 10 мм, что приводит к увеличению кренящего момента от смещения на 2 %.

**Пример 2.** Судно с небольшой килеватостью. Основные исходные данные оставляем прежними, но всем клеткам придаём угол наклона к горизонту 0,0126 рад. Изменение реакций клеток при смещении судна показано на рис. 3.

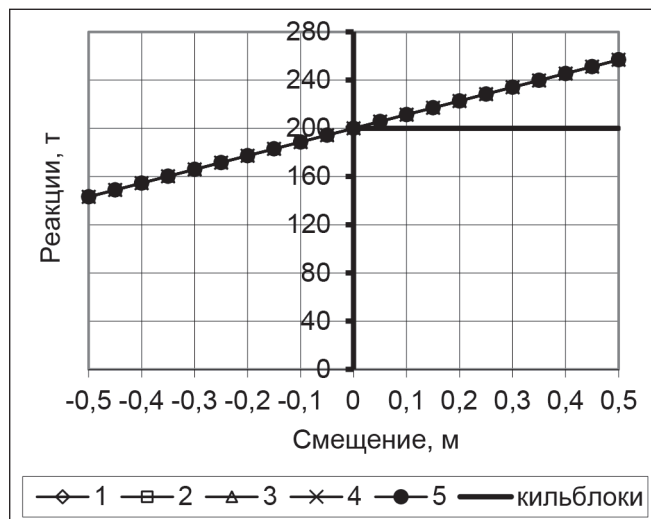


Рис. 3. Изменение реакций клеток судна с малой килеватостью при смещении

Угол килеватости здесь подобран таким, что смещение судна не сопровождается его креном. Поэтому при любом смещении реакции всех клеток одного борта одинаковы.

**Пример 3.** Угол наклона всех клеток к горизонту равен 0,055 рад. Результаты этого расчёта показаны на рис. 4. Этот вариант интересен тем, что при любом смещении реакция наиболее удалённой от ДП клетки № 3 ПБ, ЛБ остаётся постоянной. В отличие от примера 1, здесь быстрее изменяются реакции клеток, расположенных ближе к ДП. Судно получает обратный крен, в результате которого при смещении ДП 500 мм на ПБ ЦТ судна перемещается на 31 мм на ЛБ, что приводит к уменьшению кренящего момента, вызванного смещением, на 6 %.

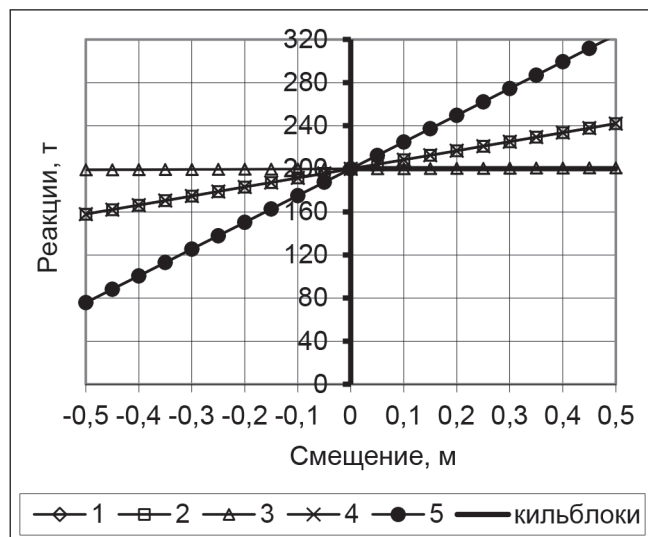


Рис. 4. Изменение реакций клеток судна с килеватостью 0,055 при смещении



**Пример 4.** Судно со значительной, но постоянной килеватостью в районе расположения клеток. Предполагается, что она не повлияла на высоту деревянных подушек клеток, которая осталась равной 300 мм. Основные исходные данные оставляем прежними, но всем клеткам придаём угол наклона к горизонту, при котором  $\operatorname{tg}\beta = 0,20$ . Изменение реакций клеток при смещении судна показано на рис. 5.

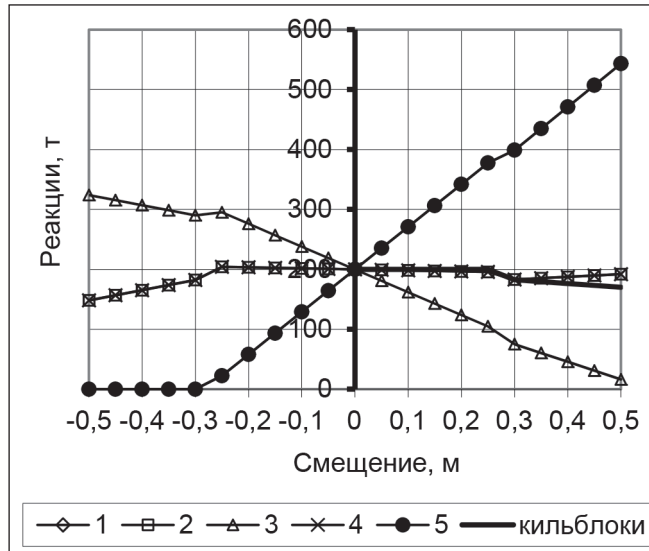


Рис. 5. Изменение реакций клеток килеватого судна при смещении

Как видим, здесь картина реакций сильно изменилась. При смещении более 300 мм клетки № 1 и 5 левого борта перестают работать, тогда как нагрузка на клетку № 5 ЛБ увеличивается примерно в 1,5 раза по сравнению с посадкой судна на ДОУ без смещения. На правом борту ближайšie к ДП клетки № 1 и 5 сильно перегружаются (в два раза при смещении 300 мм), наиболее удалённая клетка № 3 разгружается, нагрузка же на клетки № 2 и 4 изменяется мало. Из-за обратного крена при смещении ДП судна относительно ДП ДОУ 500 мм ЦТ судна смещается на 130 мм на ЛБ, что заметно уменьшает кренящий момент. Характерно, что исключение из работы некоторых клеток сопровождается снижением нагрузки на килевую дорожку. Соответственно растёт общая неравномерность реакций ДОУ.

**Пример 5.** Различные углы уклона клеток (см. таблицу на с. 122), а у клетки № 5 увеличена высота деревянной подушки. Обратим внимание на то, что подобная картина вполне реальна и по величинам углов уклона, и по сочетанию отстояний клеток от ДП, и по возможному увеличению высоты деревянной подушки высоких клеток (или сохранению её неизменной за счёт введения в конструкцию клетки жёстких элементов). В этом примере центры клеток № 1 и 5 на 1 м выше, чем остальных клеток, что, в принципе, требует использования жёстких проставок для уменьшения расхода лесоматериалов. Расчётные реакции клеток изображены на рис. 6.

Этот пример наглядно показывает, насколько неблагоприятным может быть сочетание различных углов уклона клеток и их отстояний от ДП. Уже при смещении судна на ПБ на 75 мм крутые клетки № 1 и 5 ЛБ теряют контакт с днищем. Зато крайние клетки ПБ сильно перегружаются, особенно клетка № 1, имеющая такую же высоту деревянной подушки, что и все остальные (кроме клетки № 5). При максимальном расчётном смещении 500 мм расчётные нагрузки на клетки № 1 и 5 ПБ составили соответственно 1570 и 590 т. Нагрузка на килевую дорожку (на все 15 кильблоков, по размерам таких же, как и клетки!) снизилась с 3160 до 1590 т, практически сравнявшись с нагрузкой на единственную клетку № 1 правого борта. Оценивая эти результаты, не будем забывать, что задача решалась в линейной постановке. При полученном давлении почти в 7 МПа клетка № 1 получит деформацию, близкую к 60 %, а реакция её из-за нелинейности (и неизбежных разрушений) будет значительно меньше. На клетках № 1 и 5 ЛБ, наоборот, будет наблюдаться зазор 150 мм. Судно при смещении 500 мм будет иметь обратный крен 0,00765 рад, в результате которого ЦТ сместится в сторону ЛБ на 54 мм.

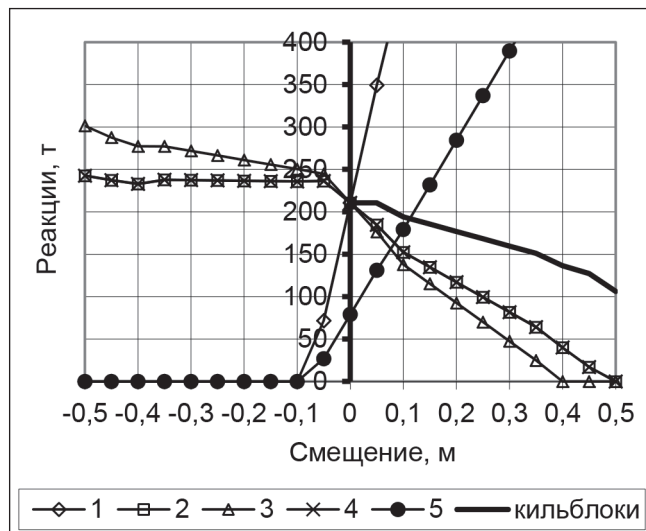


Рис. 6. Изменение реакций клеток судна при смещении

**Пример 6.** Судно с перекосом. Предположим, что корма была точно отцентрована, а сместилась в сторону правого борта только носовая оконечность. Для определения реакций клеток необходимо дополнительно задать их абсциссы (указаны в таблице). Углы уклона клеток взяты по примеру 5. Результаты расчётов реакций клеток ПБ и ЛБ (соответственно правая и левая часть диаграммы) в зависимости от смещения судна на носовом перпендикуляре приведены на рис. 7.

Результаты этого расчёта похожи на предыдущие, хотя изменение реакций клеток при одинаковых смещениях меньше. Особенно это заметно для крайней кормовой клетки № 5. Причина вполне объясняется тем, что в пределах района расположения клеток максимальное смещение меньше, чем смещение носовой оконечности, взятое в качестве аргумента при построении диаграммы. Если носовая оконечность смещена на 500 мм, то на клетке № 1 смещение составляет 388 мм, а на клетке № 5 — 140 мм. При этом расчётная реакция клетки № 1 «всего лишь» 1320 т против 1570 т в предыдущем примере. Перемещение ЦТ судна влево вследствие обратного крена получилось равным 24 мм.

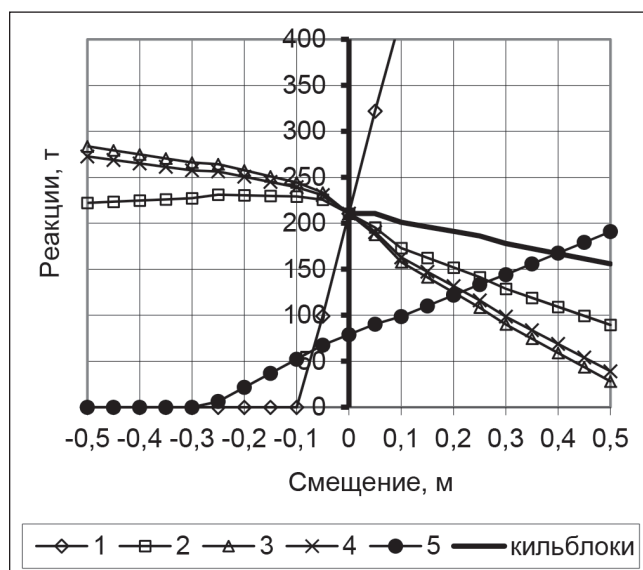


Рис. 7. Изменение реакций клеток судна при смещении

Ряд других примеров имеется в работах [13] – [15].

Нелишне отметить, что во всех этих примерах модуль упругости деревянных подушек считался равным 12 МПа. Если же выполнить подобные расчёты с нормативным его значением 60 МПа, неравномерность реакций возрастёт в несколько раз.

### Заключение

При определении минимально необходимого количества боковых клеток исходят из того, что они должны выдерживать нагрузки, обусловленные, в основном, давлением ветра и возможным смещением судна на тот или иной борт. Величины соответствующих кренящих моментов определяются нормативно [1]. Возможность неодинаковой нагрузки на клетки учитывается введением коэффициента неравномерности, который также назначается. Его нормативные значения не превышают 1,5.

Относительно размещения клеток под днищем судна руководящий документ [1] (помимо того, что они должны быть установлены под достаточно прочными связями судна вне скулового закругления) предлагает устанавливать их на максимальном удалении от ДП, причём опорная поверхность должна быть, по возможности, плоской и иметь уклон не более 20 – 22°. При этом не оговаривается допустимость или недопустимость наличия клеток с различными углами уклона. Не без оснований предполагается, что эти различия во многих случаях неизбежны.

В данной работе показано, что влияние смещения, которое на практике может достигать 400 – 600 мм, может быть намного более неблагоприятным, чем принято считать. Неблагоприятными факторами являются значительная килеватость и неодинаковые отстояния клеток от ДП. Особенно опасно, когда, наряду с пологими, удалёнными от ДП клетками, расположенными в средней части судна, в оконечностях имеются крутые клетки, придвинутые к ДП. Подобные ситуации являются достаточно распространёнными в практике разработки доковых чертежей. Хотя в литературе можно встретить указания на нежелательность крутых клеток, их опасность с точки зрения прочности преуменьшается.

Здесь не учитывались другие неблагоприятные факторы: вероятные отклонения формы как клеток, так и корпуса судна от теоретического обвода днища, разброс механических характеристик деревянных подушек и т. д.

При доковании судов и кораблей с острыми обводами и значительной килеватостью нельзя избежать указанного опасного сочетания неодинаковых отстояний клеток от ДП (хотя бы для обеспечения двух вариантов докового чертежа) и углов уклона. Чтобы исключить опасность повреждений конструкций днища судна или стапель-палубы плавучего дока, следует предусматривать в конструкции крутых клеток, расположенных вблизи ДП (именно они, как показано в статье, при смещениях испытывают наибольшие нагрузки), укладку брусьев подушки с промежутками для уменьшения несущей способности этих клеток. Этому же результату можно добиться использованием сминающихся прокладок. Часто у крутых клеток получается увеличенная высота деревянной подушки, что оказывает благоприятное влияние.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД5-076.011-82. Методические указания. Корпуса кораблей и судов. Методы расчёта прочности. Расчёт на ЭВМ общей и местной прочности кораблей и судов при постановке в сухой и плавучий доки. — Л., 1982. — 237 с.
2. ОН9-964-69. Расчёт и конструирование докового опорного устройства. Расчёт реакций опорного устройства при постановке судов в сухой и плавучий доки. — М., 1969. — 118 с.
3. Козляков В. В. Проектирование доковых опорных устройств / В. В. Козляков, Г. Н. Финкель, И. Я. Хархурим. — Л.: Судостроение, 1973. — 176 с.
4. Нисенбаум С. Л. Влияние реакций кильблоков на устойчивость судна при постановке в док / С. Л. Нисенбаум // Технология судостроения. — 1967. — № 6.
5. Harren P. A. (ed.). Safe Operation and Maintenance of Dry Dock Facilities / P. A. Harren. — Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010. — 223 p.
6. Dockmaster training manual. — USA: Heger Dry Dock, Inc., 2005. — 278 p.



7. Cheng Y. S. Optimal and robust design of docking blocks with uncertainty / Y. S. Cheng, F. T. K. Au, L. G. Tham, G. W. Zeng // Engineering structures. — 2004. — Vol. 26. — Is. 4. — Pp. 499–510. DOI:10.1016/j.engstruct.2003.11.007.
8. Luchs J. K. Earthquake resistant submarine drydock block system design: diss. / J. K. Luchs. — Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1988.
9. Hepburn R. D. Potential Failure of Surface Ship and Submarine Drydock Blocking systems Due to Seismic Loadings and Recommended Design Improvements / R. D. Hepburn, J. K. Luchs, D. G. Karr // Society of Naval Architects and Marine Engineers-Transactions. — 1988. — Vol. 96. — P. 28.
10. Chen C. Optimal dock block arrangement considering subsequent ships solved by genetic algorithm / C. Chen, C. K. Huat // Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013). October 23-25, 2013. — Bangkok, Thailand, 2013. — Pp. 770–783.
11. Aguirrezabala G. Multiple vessel dry-docking and other issues related with the operation of a floating dock / G. Aguirrezabala // International Conference on Drydocks. — London: Launching & Shiplift, 2003.
12. Правила классификации и постройки морских судов: в 5 т.— СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2015. — Т. 1. — 580 с.
13. Антоненко С. В. Совершенствование расчёта боковых клеток дока / С. В. Антоненко // Судостроение. — 1992. — № 1. — С. 33–35.
14. Антоненко С. В. Расчёт реакций доковых клеток / С. В. Антоненко, А. Е. Баскакова // Морские интеллектуальные технологии. — 2010. — № 3-1. — С. 22–25.
15. Антоненко С. В. Докование судов. Теория и практика / С. В. Антоненко. — Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing (LAP), 2012. — 304 с.
16. Антоненко С. В. Результаты исследований прочности, жёсткости и ползучести деревянных подушек кильблоков / С. В. Антоненко // Судостроение. — 1991. — № 1. — С. 43–46.

## CALCULATION OF THE SIDE BLOCKS IN CASES OF VESSEL'S DISPLACEMENT IN DRY DOCK

*The work content of preparing the docking blocks (DB) greatly depends on the number and design of side blocks. Especially it refers to docks, equipped with standard keel track. The side blocks are deployed at a maximum distance from center line (CL), and, if possible, near straight lines (horizontal or plane slanted bottom). The number and construction of side blocks must provide the protection against overturning moment, which can influence on the docked ship, with taking into consideration the load irregularity. Russian practice supply us with information that overturning moments in graving dock are made by the transverse displacement of the vessel from DB and wind impacts. In a floating dock, the overturning moment is added due to list the dock under the wind influence. As known in the USA they don't take into consideration the displacement loads, but they take into consideration the possibility of earthquake.*

*The loads irregularity factor is used for side blocks number calculation. This factor assign in according with the regulations. In the paper the side blocks loads are calculated individually with method offered by the author. Unlike the traditional approach, when all blocks on one side are replaced by a single point support, the individual characteristics of each block are taken into account. These characteristics are block's distance from CL, the angle of inclination to the horizon and the height (thickness) of the wood cap. Also the basic values are offset fore and aft and overturning moment of the wind. The method offers to determine the reaction of each block, and also listing angle. It is suggested that the block react according to the Hook's law.*

*We have provided some samples of calculations for a particular vessel with displacement from 0 to 500 mm. We have considered the cases of plate and rise bottoms. We have shown that actual side blocks load irregularity might be significantly bigger than established according to regulations.*

*Keywords: dry dock, dry-dock blocking, side blocks, overturning moments, block loading, irregularity factor.*

### REFERENCES

1. Russian Federation. Guidance document RD 5-076.011-82. Metodicheskie ukazaniya. Korpusa korablej i sudov. Metody raschjota prochnosti. Raschjot na JeVM obshhej i mestnoj prochnosti korablej i sudov pri postanovke v suhoj i plavuchij doki. L., 1982.

2. Russian Federation. ON9-964-69. Raschjot i konstruirovanie dokovogo opornogo ustrojstva. Raschjot reakcij opornogo ustrojstva pri postanovke sudov v suhoj i plavuchij doki. M., 1969.
3. Kozljakov, V. V., G. N. Finkel, and I. Ja. Harhurim. *Proektirovanie dokovyh opornyh ustrojstv*. L.: Sudostroenie, 1973.
4. Nisenbaum, S. L. "Vlijanie reakcij kilblokov na ustojchivost sudna pri postanovke v dok." *Tehnologija sudostroenija* 6 (1967).
5. Harren, P. A., ed. *Safe Operation and Maintenance of Dry Dock Facilities*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010.
6. *Dockmaster training manual*. USA: Heger Dry Dock, Inc., 2005.
7. Cheng, Y. S., F. T. K. Au, L. G. Tham, and G. W. Zeng. "Optimal and robust design of docking blocks with uncertainty." *Engineering structures* 26.4 (2004): 499–510. DOI:10.1016/j.engstruct.2003.11.007.
8. Luchs, J. K. Earthquake resistant submarine drydock block system design. Diss. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1988.
9. Hepburn, R. D., J. K. Luchs, and D. G. Karr. "Potential Failure of Surface Ship and Submarine Drydock Blocking systems Due to Seismic Loadings and Recommended Design Improvements." *Society of Naval Architects and Marine Engineers-Transactions* 96 (1988): 28.
10. Chen, C., and C. K. Huat. "Optimal dock block arrangement considering subsequent ships solved by genetic algorithm." *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013). October 23-25, 2013*. Bangkok, Thailand, 2013: 770–783.
11. Aguirrezabala, G. "Multiple vessel dry-docking and other issues related with the operation of a floating dock." *International Conference on Drydocks*. London: Launching & Shiplift, 2003.
12. *Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov*. Vol. 1. SPb.: Rossijskij morskoy registr sudohodstva, 2015.
13. Antonenko, S. V. "Sovershenstvovanie raschjota bokovyh kletok doka." *Sudostroenie* 1 (1992): 33–35.
14. Antonenko, S. V., and A. E. Baskakova. "Calculation of responses of dock cribbings." *Marine intellectual technologies* 3-1 (2011): 22–25.
15. Antonenko, S. V. *Dokovanie sudov. Teorija i praktika*. Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing (LAP), 2012.
16. Antonenko, S. V. "Rezultaty issledovanij prochnosti, zhjostkosti i polzuchesti derevjannyh podushek kilblokov." *Sudostroenie* 1 (1991): 43–46.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Антоненко Сергей Владимирович —  
доктор технических наук, профессор.  
ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный  
университет (ДВФУ)»  
antonenko48@rambler.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Antonenko Sergej Vladimirovich —  
Dr. of Technical Sciences, professor.  
Far Eastern Federal University (FEFU)  
antonenko48@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2016 г.

УДК 629.565.2

**В. А. Кулеш,  
Д. В. Немкин**

### РАЗРАБОТКА НОРМ ИЗНОСА ДЛЯ ПЛАВУЧЕГО ДОКА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В работе представлен вариант решения проблемы уменьшения затрат на обеспечение эксплуатационной надежности плавучего дока проекта 985. Решение поставленной задачи достигается за счет введения для плавдока эксплуатационных ограничений, таких как максимальная грузоподъемность, длина докуемого судна и глубина погружения. Анализ данных об эксплуатации плавдока за последние три года выявил, что вес судов, подвергаемых докованию, в основном не выходил за рамки введенного ограничения (только четыре судна из двадцати одного имели водоизмещение более 1000 т). Таким образом, предло-