

# 4

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УМЕНЬШЕНИЯ КАЧКИ СУДНА

Качка судна может быть вертикальной (переменное всплытие и погружение), продольной или килевой (переменный дифферент на нос и на корму), бортовой (переменный крен на правый и левый борт).

Первые два вида качки обычно существуют одновременно. Бортовая качка часто не сопровождается другими видами качки. Одновременно с качкой судно может испытывать боковой дрейф.

Вертикальная качка судна приводит к колебаниям осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, что осложняет процесс бурения и отбора высококачественного керна. В момент, когда БС оказывается на гребне волны, буровой снаряд отрывается от забоя, а когда судно опускается в ложбину волны, то на снаряд действует излишняя нагрузка, которая может его сломать. Вертикальная качка затрудняет процессы навинчивания и отвинчивания бурильных и обсадных труб при их спуске в скважину и подъеме из нее. Бортовая и продольная качка и дрейф БС создают изгибающие нагрузки в колоннах обсадных и бурильных труб и могут привести к их поломке.

Снижение качки судна достигается различными методами:

- уменьшением амплитуды и силы воздействующих на него волн;

- рациональным выбором типа и основных размерений судна, формы обводов его корпуса, типа и параметров систем стабилизации судна на скважине;

- установкой на судне специальных успокоителей качки.

#### **4.1. МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ АМПЛИТУДЫ И СИЛЫ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА СУДНО ВОЛН**

Наиболее мобильными устройствами, защищающими БС от больших волн, являются волнорезы, или волноломы. Их действие основано на том, что по мере удаления от поверхности в глубь моря сила волн затухает по закону [27]

$$h_x = h / e^{5,5(x/\lambda)^{0,8}}, \quad (2)$$

где  $h$  и  $h_x$  — высота ветровой волны на поверхности моря и на глубине  $x$  от поверхности соответственно;  $\lambda$  — длина волны.

Расчеты показывают, что 75 % энергии волны моря приходится на его поверхностный слой, глубина которого составляет 10 % от длины волны; на глубине моря, равной половине длины волны, ветровое волнение практически отсутствует.

Обычно волнорезами служат обладающие положительной плавучестью цилиндрические емкости, которые шарнирно соединяют между собой или помещают в сетчатую оболочку, располагают в несколько рядов вокруг судна или со стороны волнения и раскрепляют якорями.

Для эффективной работы волнорезов оси цилиндрических емкостей должны находиться ниже уровня воды, где энергия волны максимальная. Для этого расчетную часть каждой емкости заполняют морской водой, а оставшуюся часть — сжатым воздухом. Эффективность волнореза повышается с увеличением диаметров его цилиндрических емкостей. Экспериментально с помощью волнорезов специалисты буровых компаний Англии уменьшали амплитуду волны с 9 до 1,5 м.

#### **4.2. ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ СУДНА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО КАЧКИ**

Для уменьшения килевой и вертикальной качки целесообразно проектировать суда, длина которых была бы больше длины волны, при которой с них предусматривают осуществлять бурение (при волнении 4 балла длина волны составляет 25–40 м, 5 баллов — 40–75 м). На точке бурения БС следует устанавливать носом на волну. Однако в процессе бурения скважины направление ветровой волны может меняться по

несколько раз. А так как изменять положение судна на скважине синхронно с изменением направления волны трудно, то судно может оказаться в положении бортом на волну. При этом существенно усиливается дрейф и снижается остойчивость судна, т.е. у него увеличиваются углы крена от действия кренящих нагрузок.

Повышение остойчивости судна достигается снижением его центра тяжести. Однако при этом ухудшаются условия работы и обитания людей, так как бортовая качка становится стремительнее, порывистее и тяжелее.

Важной характеристикой судна, определяющей условия обитания на нем людей, является период бортовой качки

$$T = CB / \sqrt{h_0}, \quad (3)$$

где  $T$  — период свободных колебаний, с;  $B$  — ширина судна, м;  $h_0$  — начальная метацентрическая высота, м;  $C$  — коэффициент, равный  $0,78 - 0,85 \text{ с/м}^{0,5}$ .

Выражение (3) рекомендуется для приближенного определения периода свободных колебаний судна при бортовой качке на тихой воде [6]. Оно позволяет оценить характер влияния основных размерений судна на период бортовой качки.

Для улучшения условий обитания на судне период его бортовой качки необходимо увеличивать. Как следует из выражения (3), сделать это можно уменьшением метацентрической высоты судна или увеличением его ширины. Уменьшение метацентрической высоты судов достигается заострением обводов в подводной части корпуса и преимущественно повышением центра тяжести судна. Последнее улучшает условия обитания на судне, но делает его, как уже отмечалось, менее остойчивым.

Повышается остойчивость судна и улучшаются условия обитания на нем при увеличении ширины БС. Исходя из режима работы судна (стоянка на точке бурения составляет  $85 - 90 \%$  всего времени), ширину его корпуса можно увеличивать до любых необходимых размеров. Наряду с этим форма и ширина корпуса не должны создавать больших сопротивлений движению судна по воде со скоростью  $10 - 14$  узлов.

Следовательно, при различном влиянии изменения метацентрической высоты судна на его остойчивость и условия обитания, а ширины на остойчивость и скорость хода БС должно быть спроектировано таким образом, чтобы при достаточной остойчивости период качки был максимальным. В

работе [47] отмечается, что амплитуда бортовой качки плавучей буровой установки при бурении не должна быть более  $5-7^\circ$  с периодом в десятки секунд.

Обычно относительная метацентрическая высота (отношение метацентрической высоты к максимальной ширине корпуса) для грузовых и пассажирских судов при полном водоизмещении составляет примерно 0,05; для научно-исследовательских судов (НИС) она достигает 0,082 [48]. Период качки однокорпусного НИС шириной 12 м (среднее значение ширины специализированных судов для геологических и геофизических исследований шельфа по [29]), вычисленный по формуле (3) при указанном значении относительной метацентрической высоты, составляет всего 9,4–10,3 с, что явно недостаточно для нормальных условий обитания на судне людей.

Изложенное свидетельствует, что мероприятия по уменьшению качки БС путем выбора его центра тяжести, формы обводов и размеров корпуса имеют ограниченное значение и недостаточно эффективны в условиях волнения, постоянно изменяющегося по силе и направлению.

### 4.3. УСПОКОИТЕЛИ КАЧКИ СУДОВ

Работа успокоителей качки судов основана на том, что они создают стабилизирующий момент только при возникновении отклоняющего момента, т.е. когда судно уже получило угловое наклонение, отличающееся от его значения на тихой воде. Поэтому полностью исключить качку БС успокоители не могут. Тем не менее успокоители качки частично компенсируют возмущающий момент при качке судна, вследствие чего уменьшаются ее амплитуда, скорость и ускорение. Это благоприятно сказывается на работе судовых механизмов и самочувствии находящихся на судне людей.

По принципу управления работой успокоители качки делятся на пассивные и активные. Пассивные не имеют искусственного управления стабилизирующим моментом и не требуют каких-либо специальных источников энергии. Активные успокоители осуществляют изменение стабилизирующего момента с помощью специальных механизмов. В качестве успокоителей качки используют боковые и торцевые кили, управляемые боковые рули, пассивные и активные успокоительные гироскопы и цистерны.

*Боковые и торцевые кили* представляют собой длинные

пластины, устанавливаемые на корпусе БС ниже ватерлинии. Кили создают дополнительное сопротивление при бортовой и продольной качке и способствуют значительному уменьшению амплитуды колебаний (на период качки боковые и торцевые кили не влияют). Применение боковых килей рациональной площади приводит к уменьшению амплитуды бортовой качки быстро движущегося судна на 20–30 % (при больших размерах площади килей до 50 %) [11]. Конструктивно кили являются простейшими пассивными успокоителями. Однако их использование приводит к некоторой потере скорости хода судна.

*Управляемые бортовые рули* представляют собой крылья малого удлинения, которые выступают с обоих бортов судна и снабжены механизмами, обеспечивающими их поворот, выдвижение из корпуса и уборку внутрь него. Такие рули относятся к активным успокоителям качки. Боковые управляемые рули особенно эффективно действуют при высокой скорости хода судна, снижая амплитуду бортовой качки в несколько раз. Благодаря этому повышается скорость судна на волнении, несмотря на то что выдвинутые рули увеличивают сопротивление его движению на тихой воде.

Действие *гироскопического успокоителя качки* основано на том, что массивный гироскоп при быстром вращении противодействует изменению направления своей оси вращения в пространстве. Гироскопические успокоители бывают пассивными и активными. Они одинаково эффективно умеряют качку на ходу судна и в дрейфе.

К недостаткам гироскопических успокоителей относятся значительная масса, неудобство расположения, большая стоимость, сложность устройства в эксплуатации, распатывание связей корпуса и опасность значительных его повреждений при аварии гироскопа. Как показала проектная проработка, выполненная американскими специалистами применительно к судну типа AGOR-3 (водоизмещение ~1400 т), масса гироскопического успокоителя должна быть около 70 т, для его размещения потребуются площади объемом ~145 м<sup>3</sup>, а потребляемая мощность составит 260 кВт, т.е. 35 % общей мощности ЭУ судна [48].

*Успокоительные цистерны* бывают пассивными и активными. Конструктивно эти успокоители представляют собой специальные сообщающиеся цистерны с переливающейся в них водой, расположенные по бортам судна. Принцип действия такого успокоителя состоит в том, что при качке переливание воды из цистерны одного борта в цистерну другого

отстает от наклона судна. Тем самым создается стабилизирующий момент, противодействующий наклону судна.

Активные успокоительные цистерны обеспечивают почти полное успокоение бортовой качки судна при всех соотношениях между ее периодом и периодом волны (т.е. при нерегулярном волнении). Они эффективно действуют на ходу и в дрейфе судна, но требуют сложного и дорогого оборудования (насос или воздуходувка, приборы управления), дополнительных затрат мощности для его привода. Например, мощность двигателя насоса активных цистерн, установленных на научно-исследовательском судне "Метеор" (ФРГ), равна 110 кВт [48].

Пассивные успокоительные цистерны малоэффективны в условиях нерегулярного волнения, и их эффективность зависит от нагрузки судна. В то же время наибольшее распространение для уменьшения бортовой качки на научно-исследовательских судах получила система стабилизации типа Флюм, в основе которой лежит принцип работы пассивных успокоительных цистерн. Главными элементами системы Флюм являются три цистерны: две бортовые и одна средняя, соединенные между собой каналами и снабженные клапанами вентиляции. Примерно на половину своей высоты цистерны и каналы заполнены водой.

Принцип действия системы заключается в следующем: вода перетекает из средней цистерны в бортовую или наоборот таким образом, чтобы уровень воды в средней цистерне при наклоне судна оставался постоянным. Перетекающая вода создает при этом восстанавливающий момент, который демпфирует бортовую качку. Изменяя количество воды в цистернах, можно увеличивать или уменьшать метацентрическую высоту, что особенно важно для буровых судов. У БС значение метацентрической высоты в процессе бурения может колебаться до 30–50 % в зависимости от расхода запасов топлива и, главным образом, от того, где находится буровой снаряд — в скважине или на палубе судна.

Система Флюм отличается простотой и высокой эффективностью, низкими начальными и эксплуатационными затратами, относительно небольшими размерами и массой (0,7–3 % от водоизмещения), возможностью использования топлива в качестве рабочей жидкости. В обычных условиях она, по данным компании "Матсон", снижает амплитуду бортовой качки на 75–80 %, а при условиях, близких к резонансу, — до 90 %. При испытаниях системы на модели достигнуто уменьшение амплитуды бортовой качки в 2–3 раза. Эф-

фekt от применения системы Флюм был настолько значительным, что установка бортовых килей существенно не влияла на уменьшение бортовой качки модели [48].

#### **4.4. ВЛИЯНИЕ ТИПА И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СУДНА НА ЕГО КАЧКУ И ДРЕЙФ**

Основное назначение систем стабилизации БС — предотвращение его горизонтальных смещений от устья скважины на величины выше допустимых во избежание поломки обсадных и бурильных труб. В то же время некоторые типы систем стабилизации при правильной технологии их использования обеспечивают также существенное уменьшение качки БС.

*Стабилизация БС при помощи закольных свай* полностью исключает его дрейф и уменьшает качку. Однако область эффективного использования закольных свай ограничена глубинами воды до 8 м и волнением моря до 3 баллов.

*Якорная система* проявляет максимальную удерживающую способность при горизонтальном приложении к якорю усилия от троса. Установлено, что если угол приложения нагрузки больше  $12^\circ$  от горизонтали, то удерживающая способность якоря значительно уменьшается [18]. Если принять, что якорный трос вытянут в прямую линию, то его длина для получения такого угла наклона должна быть в 4,8 раза больше глубины воды в месте бурения.

Однако никакими усилиями наклонно направленный трос невозможно вытянуть в прямую линию, под действием силы тяжести он всегда провисает, и это уменьшает угол наклона его при подходе к якорю. Поэтому длину заброшенного в воду якорного троса рекомендуют принимать при безветренной погоде, отсутствии сильных течений и колебаний уровня воды больше глубины акватории в 3–4 раза, а при работе в неблагоприятных погодных условиях — в 2–3 раза. Для увеличения удерживающей силы и улучшения амортизационных свойств якорной системы рекомендуется к якорному тросу в нескольких метрах от якоря подвешивать специальный груз или между якорем и тросом устанавливать тяжелую цепь длиной 2–3 м [6].

Сила внезапных нагрузок от ветра и волнения расходуется прежде всего на уменьшение провеса якорного троса. Одно-

временно с уменьшением провеса троса увеличивается сила его натяжения, которая создает момент, препятствующий наклону судна. Таким образом, длинный якорный трос демпфирует внезапные нагрузки и уменьшает бортовую, килевую и вертикальную качку судна.

Провисание тросов исключает срыв якорей при поднятии уровня воды. Однако излишний провес, образующийся во время отлива, необходимо сразу ликвидировать натяжением тросов, иначе БС сместится с точки бурения, а это может привести к поломке колонн обсадных и бурильных труб и даже к потере скважины. Для предотвращения таких ситуаций необходим тщательный контроль и регистрация силы натяжения якорных тросов. Достичь этого можно, используя якорные лебедки с автоматическим регулированием силы натяжения троса.

*Система динамического позиционирования (ДП)* не уменьшает качку судна. Однако в штормовую погоду на глубинах моря более 80 м ее целесообразно применять одновременно с якорной системой стабилизации. Последняя в этих условиях иногда не в состоянии противостоять напору ветра и волн — ползут якоря или рвутся якорные тросы. Система ДП стабилизирует силу натяжения якорных тросов в пределах их прочности и исключает сползание якорей, так как обладает высокой точностью и надежностью удержания БС в горизонтальной плоскости. Основная роль якорной системы будет заключаться при этом в уменьшении качки судна.