

Проблемы создания технических средств для промышленной добычи полиметаллических конкреций и новые пути их решения

Кузьминский В.П., Кравченко В.Г., Кузнецов Ю.М., Кудрявцев Д.В., НИПИОкеанмаш, г. Днепропетровск

1. ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОМПЛЕКСУ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНКРЕЦИЙ В ОКЕАНЕ

Несмотря на значительные успехи зарубежных консорциумов в создании техники первого поколения для добычи полиметаллических конкреций (ПМК) со дна океана, горнодобывающие предприятия появятся в океане, теперь это очевидно, в следующем веке. Это станет возможным, когда сложатся благоприятные экономические условия для такого вида деятельности и будут созданы эффективные технические средства для промышленной добычи ПМК.

При выработке технической политики создания техники для промышленной добычи глубоководных конкреций следует учитывать, что разработка технических средств первого поколения осуществлялась зарубежными фирмами для опробования экспериментального оборудования в океане. При этом производительность не являлась основным критерием оценки создаваемой техники, а для сокращения сроков ее создания и экономии средств использовалось модифицированное горное и нефтяное оборудование.

Поэтому при разработке техники для промышленной добычи ПМК необходим критический подход к использованию предыдущего опыта. Это позволит избежать повторения ошибок зарубежных проектантов и исключить копирование морально устаревших образцов техники первого поколения.

Для проектирования должны быть выработаны, исходя из экономических соображений, такие определяющие, обязательные к выполнению требования к единичному комплексу для промышленной добычи, невыполнение которых делало бы использование комплекса экономически нецелесообразным.

Такие требования выработаны в НИПИОкеанмаше с участием специалистов Национальной горной академии Украины /1/.

Проведенные исследовательские и проектные работы показали, что одним из наиболее важных компонентов будущего добычного комплекса является система транспортирования добытых полезных ископаемых со дна океана на надводное плавсредство.

После многочисленных проработок и испытаний доминирующим среди разработок за рубежом стал трубопроводный способ транспортирования. Наиболее отчетливо это

прослеживается на примере японских и французских фирм, которые после длительной стадии опробования и экспериментов с тросоковшовой системой подъема (Япония) и с автономными добывающими агрегатами (Франция) переключились на исследование гидротранспортных систем. Другие консорциумы разрабатывали и испытывали только гидротранспортные системы.

Проработки и исследования НИПИОкеанмаш подтверждают экономическую и техническую целесообразность использования для комплекса промышленной добычи гидротранспортной системы подъема ПМК на плавсредство.

Новые технико-экономические проработки, результаты которых не расходятся, в основном, с данными зарубежных исследований, позволяют подтвердить одно из важнейших требований к единичному комплексу промышленной добычи ПМК: эксплуатационная производительность комплекса должна быть 1-1,5 млн.т мокрых конкреций в год или больше.

Для обеспечения названной производительности, с учетом данных о плотности залегания ПМК на дне океана, добычной комплекс должен обеспечивать обработку площадей дна со скоростью 10-15 м²/с. А это значит, что при реально достижимых средних скоростях перемещения промышленного донного оборудования около 0,5 м/с суммарная ширина органа сбора (или органов сбора) должна быть не менее 20-30 м. Это требование ставит перед создателями комплекса сложные технические задачи.

Следующим, не менее сложным для выполнения, является требование о безаварийном перемещении и работе донного агрегата сбора ПМК при наличии неопознанных (необнаруженных) препятствий на дне океана в полосе сбора.

Это требование является одним из важнейших по причине неизбежных многократных столкновений агрегата сбора с неопознанными препятствиями на дне океана в процессе сбора ПМК. Это обусловлено наличием препятствий на дне даже в сравнительно "благополучных" зонах добычи, относительно низкой (до 80-90%) вероятностью распознавания препятствий существующими средствами, необходимостью обработки агрегатами сбора больших площадей океанского дна при относительно высоких скоростях перемещения.

Не менее сложным в реализации является требование о высокой надежности промышленного комплекса. Коэффициент готовности комплекса для обеспечения названной эксплуатационной производительности должен быть не ниже 0,7, что при сравнительно невысоких реально достижимых показателях надежности сложного погружного оборудования фактически означает обеспечение возможности относительно быстрого подъема погружного оборудования на судно для его обслуживания или замены и относительно быстрого монтажа-демонтажа оборудования на месте добычи.

Несмотря на преимущество трубопроводной системы транспортирования ПМК на плавсредство, подъем ПМК по трубе традиционными способами (до 10% твердого в пульпе) при промышленной добыче приведет к резкому росту поперечного сечения и веса трубного става. Это, в свою очередь, приведет к повышенным энергозатратам на его буксирование, резко усложнит надводное оборудование, подводя его конструкцию к грани технических возможностей. Отсюда - требование о необходимости гидротранспортирования с повышенной (хотя бы в 4-6 раз) концентрацией твердого в пульпе.

Одной из серьезных проблем является спуск тяжелого транспортного трубопровода с оборудованием и подъем его на судно на волнении. Эта операция осуществляется при совмещении (несмотря на угловые колебания судна) осей, стыкуемых при спуске (разъединяемых при подъеме) трубных секций.

Использование для комплекса промышленной добычи традиционных (например, как для буровых судов) компенсаторов угловых колебаний из-за большого веса погружного оборудования, как показал анализ, неприемлемо.

Поэтому одной из задач при создании добычного оборудования для промышленной добычи ПМК является поиск и разработка способов выполнения операций по спуску и подъему транспортного трубопровода без компенсаторов угловых колебаний.

Для увеличения срока службы элементов трубного става добычной комплекс должен быть оборудован системой компенсации вертикальной качки судна на волнении.

В связи с тем, что масса погружного оборудования промышленного комплекса определяется тысячами тонн, практически невозможно использовать традиционные способы компенсации качки судна при добыче и штормовом отстое (например, как у буровых судов). Необходимы новые технические решения, обеспечивающие компенсацию качки судна при минимальных энергозатратах и высокой надежности оборудования.

С точки зрения управления движением добычной комплекс представляет собой сложнейшую протяженную пространственную систему, длительно функционирующую в условиях множества внешних воздействий большой неопределенности. Непосредственное управление оператором движением комплекса практически невозможно. Отсюда вытекает требование обеспечения возможности управления движением комплекса в автоматизированном режиме.

Для выработки экологических требований к добычному оборудованию во всей их полноте необходимо проведение большого объема исследовательских работ. Однако, одно из требований, наиболее влияющее на общий облик добычного комплекса, можно сформулировать уже сейчас: отработанная вода должна сливаться на дно океана. Характер такого слива непосредственно на дно также требует дальнейшего уточнения.

Таким образом, создание промышленного комплекса для добычи ПМК выдвигает ряд новых серьезных требований, которые не являлись определяющими при создании и испытании добычных агрегатов первого поколения.

Эти требования определены и обоснованы.

Следует отметить, что только по некоторым составным частям комплекса известны (на уровне патентов) отдельные решения, которые в какой-то мере отвечают определяющим требованиям.

Специалисты НИПИОкеанмаш разработали новые основные технические решения по комплексу и его составным частям, отвечающие определяющим требованиям. Эти разработки могут быть положены в основу при создании комплекса для промышленной добычи ПМК.

2. АГРЕГАТ СБОРА ПМК, ОТВЕЧАЮЩИЙ УСЛОВИЯМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ.

Для промышленного агрегата сбора ПМК основополагающими (см. выше) определены требования:

обработка площадей дна со скоростью 10-15 м²/с;

безаварийное перемещение и работа при наличии в месте сбора необнаруженных препятствий.

Для обеспечения эффективного сбора ПМК в автоматизированном режиме в реальных условиях океанского дна средняя скорость агрегата сбора может быть не более 0,5 м/с.

Таким образом, ширина захвата рабочего органа агрегата сбора ПМК должна быть не менее 20-30 м. Можно использовать два или более двух агрегатов, работающих на один транспортный трубопровод, уменьшив соответственно ширину захвата каждого агрегата. Но это усложнит работу комплекса в целом и затруднит выполнение требования о подъеме агрегата сбора по транспортному трубопроводу для обслуживания. В конечном счете не будет выполнено требование по надежности (коэффициенту готовности) добычного комплекса.

Что касается требования о безаварийном преодолении необнаруженных препятствий, то речь идет о преодолении без маневра, т.е. без участия оператора или автоматизированной системы управления, достаточно крупных (например 1-2 м) выступов или расщелин. Только такая система способна обеспечить работоспособность и необходимую эксплуатационную производительность добычного комплекса. При этом имеется в виду, что столкновения с необнаруженными препятствиями на пути в десятки километров при обработке поверхностей дна с заданными скоростями являются неизбежными и будут достаточно частыми.

Если будет решена проблема преодоления без ущерба для агрегата необнаруженных препятствий, то агрегат будет преодолевать без маневра и обнаруженные препятствия (в этом случае - под контролем). Это существенно повысит его эксплуатационную производительность, так как выполнение маневра над каждым препятствием приводит к ее потере.

Одним из путей решения проблемы может быть создание агрегата с гибким рабочим органом: агрегат удерживается на конце транспортного трубопровода на некоторой высоте над дном океана, а его гибкий рабочий орган скользит по дну, в том числе, и по препятствиям, собирая ПМК и передавая на агрегат для дальнейшей транспортировки на судно.

Рабочий орган может быть ковшово-цепным с перемещением ковшей как в плоскости, перпендикулярной направлению движения агрегата (как в патенте Японии /2/), или в плоскостях, параллельных движению агрегата.

При этом агрегат может набирать как единое целое из нескольких (двух, трех или более) модулей, что позволяет обеспечить необходимую ширину захвата, подвешивается на конце транспортного трубопровода с возможностью регулирования его высоты над дном в процессе работы. Подруливающие устройства обеспечивают ему автономное

перемещение (путем отклонения нижнего конца транспортного трубопровода) по траектории в некоторой полосе движения.

Корпус агрегата при сборе ПМК может перемещаться над дном, например, на высоте около 3 м, его цепи с ковшами движутся относительно корпуса с помощью отдельного регулируемого привода и, свисая, скользят по дну. Ковши специальной конструкции (решетчатые, с заданным заглублением в ил) зачерпывают ПМК вместе со слоем ила, при этом ил протекает через решетчатые стенки и дно, а конкреции транспортируются в бункер.

Агрегат сбора такой конструкции может преодолевать выступы высотой 1,5-2 м без прекращения режима сбора ПМК, при этом цепи с ковшами скользят по поверхности выступов. Впадины и расщелины любых размеров не являются препятствиями для такого агрегата. Для освобождения ковшей от возможных зацепов на дне подвеска ковшей выполнена с возможностью их “кувыркания” при зацепе. В крайнем случае, конструкцией предусматривается возможность срыва ковша с цепи, имея в виду, что потеря даже нескольких ковшей в период между обслуживаниями агрегата не влияет на его работу.

Компоновка агрегата из трех модулей может быть выполнена по схемам, представленным на рис. 2.1. Компоновка по схеме, представленной на рис. 2.1а, обеспечивает больший коэффициент выемки ПМК из-за отсутствия просветов между полосами выемки. На рис.

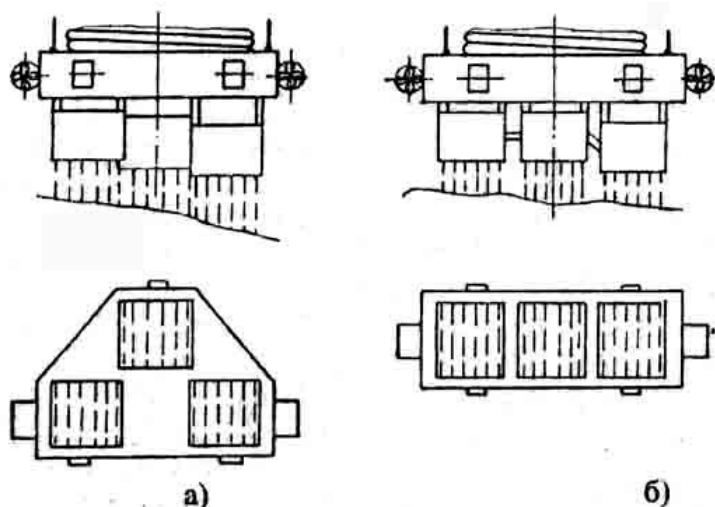


Рис.2.1. Схема компоновки агрегата

2.2 представлены схемы взаимодействия ковшево-цепного рабочего органа с грунтом.

Обеспечивается хорошая приспособляемость агрегата к рельефу дна, несмотря на большую (до 20 м и более) общую ширину рабочего органа. Это достигается как за счет гибкости ковшево-цепного рабочего органа, так и в связи с возможностью управлять высотой над

дном каждого модуля в агрегате.

Агрегат с поперечным движением ковшей испытан японскими специалистами /2/ в океане. В НИПИОкеанмаше проведены экспериментальные исследования в водной среде и на суше масштабного макета гибкого органа сбора ПМК с продольным движением ковшей. Испытания подтвердили высокий коэффициент выемки ПМК и способность преодолевать препятствия без маневра.

На рис. 2.3 показаны подбор ПМК ковшами рабочего органа макета (а) и преодоление препятствия (б).

Агрегат может работать по схеме как со встречным, так и с попутным черпанием. Процесс выемки легко поддается управлению.

Рассмотрим принципиальные положения управления выемкой ПМК, ставя задачей управления – обеспечить выемку без пропусков по площади и заданную величину перекрытия. В связи с тем, что зависимости коэффициента выемки от коэффициента заполнения ковша, скорости ковша, коэффициента перекрытия, длины линии контакта цепи с грунтом могут быть получены только экспериментальным путем, считаем известными (заданными) только предельные значения этих параметров, обеспечивающие

в их комбинации коэффициент выемки не ниже заданного.

В дальнейшем при получении необходимых зависимостей задача управления может быть усложнена (например, получение максимального коэффициента выемки), однако принципиальные положения, по-видимому, останутся без изменения.

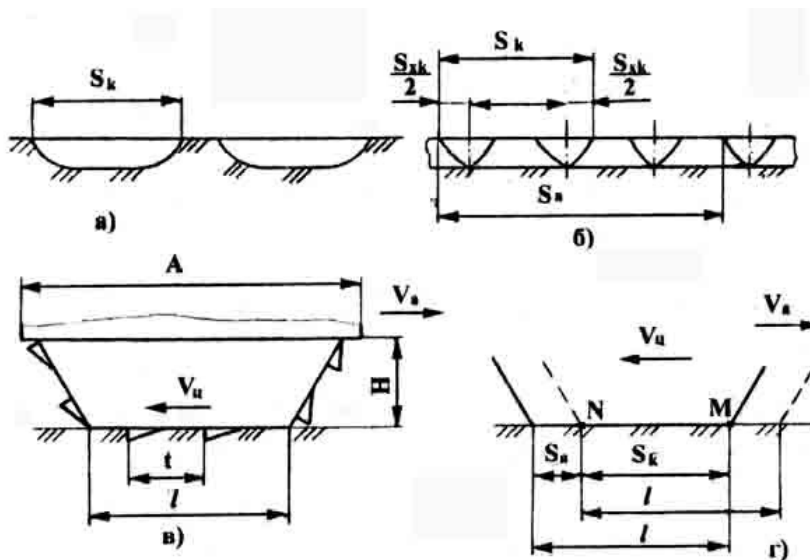


Рис.2.2.Схемы взаимодействия ковшово-цепного органа сбора с грунтом

выемки полезного ископаемого ковшово-цепным органом сбора, для обеспечения необходимого качества выемки, черпание последовательно расположенными в линию ковшами должно осуществляться без пропусков (рис. 2.2а), но с некоторым заданным (но не более) перекрытием (рис. 2.2б) при любом изменении внешних условий.

Перекрытие зон черпания необходимо, во-первых, для исключения потерь ПМК на участках входа ковша в грунт и выхода из грунта, а, во-вторых, для исключения пропусков между зонами черпания при отклонении фактических параметров кинематики движения от расчетных.

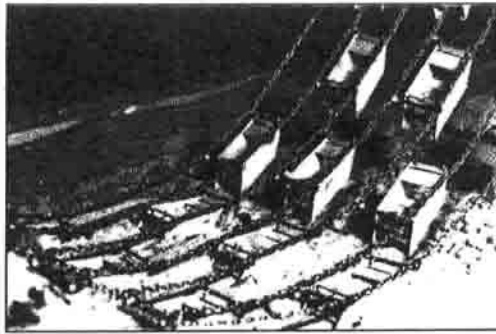
Это значит, что для любого отрезка времени T, за который полный единичный путь черпания (от входа в контакт с грунтом до выхода) прошли nт ковшей, расположенных последовательно друг за другом, должно выполняться условие:

$$S_x = k \cdot S_z \quad (2.1)$$

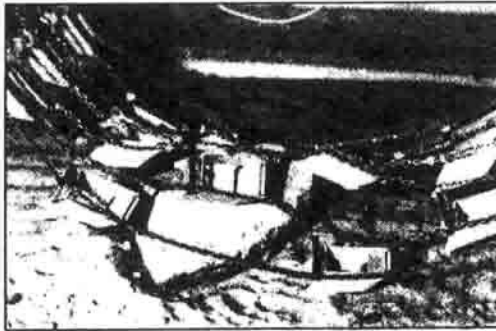
где:

$k > 1$ - заданный коэффициент перекрытия;

S_k - суммарный путь черпания nт ковшей;



а)



б)

Рис.2.3. Испытание макета ковшово-цепного органа сбора ПМК с продольным движением ковшей: а) - подбор ПМК ковшами; б) –преодоление препятствий

S_a - путь агрегата сбора за время T .

При этом

$$S_k = n_T \cdot s_k \quad (2.2)$$

$$S_a = V_a \cdot T \quad (2.3)$$

где s_k - единичный полный путь черпания одним ковшом (от входа

в контакт с грунтом до выхода);

V_a - скорость агрегата сбора.

При этом коэффициент перекрытия k должен поддерживаться в заданных пределах, диктуемых технологией выемки.

Рассмотрим соотношение параметров, определяющих условие (2.1) для случая попутного и встречного черпания при установившемся режиме движения.

Геометрические соотношения представлены на рисунке 2.2 в, г (попутное черпание), где:

$V_{ц}$ - скорость цепи относительно агрегата сбора;

t - шаг ковшей;

A - расстояние между точками схода цепи;

H - высота точек схода цепи над грунтом.

При движении цепи с ковшами со скоростью $V_{ц}$ относительно агрегата сбора и движении агрегата сбора со скоростью V_a относительно грунта ковш войдет в контакт с грунтом в точке M и выйдет в точке N , пройдя путь s_k за некоторое время τ (рис. 2.2г), где τ - время единичного контакта ковша с грунтом.

За то же время агрегат сбора пройдет путь s_a .

При этом

$$s_a = V_a \cdot \tau, \quad (2.4)$$

$$s_k = (V_{ц} - pV_a) \tau, \quad (2.5)$$

$$\ell = s_k + p \cdot s_a \quad (2.6)$$

где

$p = 1$ - для случая попутного черпания

$p = -1$ - для встречного черпания.

Из выражений (2.4), (2.5), (2.6) получаем:

$$s_k = \ell \cdot \left(1 - p \frac{V_a}{V_q} \right) \quad (2.7)$$

За время T полный единичный путь черпания пройдут n_r ковшей, причем

$$n_r = \frac{V_q \cdot T}{\ell} \quad (2.8)$$

Учитывая, что каждый n_r ковшей пройдет в контакте с грунтом путь s_k , из (2.1), (2.7), (2.8) получим:

$$S_k = \frac{\ell}{\ell} (V_q - p \cdot V_a) T \quad (2.9)$$

Из условия (2.1), принимая во внимание выражения (2.3) и (2.9), получим зависимость:

$$V_q = V_a \left(k \frac{\ell}{\ell} + p \right) \quad (2.10)$$

Из рисунка 2.2б видно, что единичный полный путь черпания одним ковшом s_k складывается из полезного пути s_{pk} и холостого пути черпания s_{hk} . В холостой путь черпания входит в начале путь вхождения ковша в грунт до полного его заглубления, в конце – выход из грунта. Кроме того, в холостой путь может входить часть полезного пути ковша, принимаемая для гарантированного перекрытия.

В связи с возможным изменением s_k в больших пределах, включая значительные уменьшения ℓ , вместо коэффициента перекрытия может задаваться и приниматься в расчетах путь холостого хода ковша s_{hk} . В таком случае вместо формулы (2.10) для определения скорости цепи $V_{ц}$ следует пользоваться выражением:

$$V_{qa} = V \cdot \left(\frac{\ell}{\ell} + 1 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{S_{hk}}{\ell}} \quad (2.11)$$

Выражение (2.11) получено совместным решением уравнений (2.7) и (2.10) с использованием для k следующего соотношения, не меняющего его сути, принятой по формуле (2.1):

$$k = \frac{S_k}{S_k - S_{\text{max}}}$$

Выражению (2.11) в расчетах следует отдать предпочтение, особенно при малых величинах ℓ и S_k .

Сохранение в процессе выемки соотношения между $V_{\text{ц}}$, V_a , t , ℓ и k (или S_k) списанного зависимостями (2.10) и (2.11), позволяет обеспечить условия выемки последовательно работающими ковшами, обусловленное требованиями технологии.

В процессе выемки в принципе возможно управление параметрами V_a , ℓ и $V_{\text{ц}}$ с целью обеспечения соотношений (2.10) и (2.11), при этом ℓ может изменяться за счет изменения величин H и A (см. рис. 2.2 в).

Однако, учитывая сложные зависимости ℓ от множества параметров, отслеживать его заданную величину с целью выполнения условий (2.10) и (2.11) будет весьма сложно.

Управление скоростью агрегата V_a с названными целями также, по-видимому, нецелесообразно в связи с большой инерционностью системы и зависимостью от скорости агрегата сбора главной характеристики добычной установки - производительности.

По этим причинам для обеспечения условия выемки (2.1) наиболее целесообразным является управление скоростью цепи $V_{\text{ц}}$. Проведенная оценка подтверждает возможность реализации такого управления.

В целях управления выемкой, кроме зависимости (2.10) и (2.11), должны учитываться некоторые ограничения, основные из них:

1) единичный полный путь черпания одним ковшом, определяемый из выражения (2.7), имеет ограничение, связанное с емкостью ковша Q_k и концентрацией полезного ископаемого q :

$$s_k \leq \frac{Q_k \cdot k_{\text{доп}}}{b \cdot q} \quad (2.12)$$

где:

$k_{\text{доп}}$ - допустимый коэффициент заполнения ковша конкрециями;

b - ширина ковша;

2) скорость цепи должна быть не выше некоторой допустимой по условию черпания и разгрузки ПМК величины $V_{\text{ц доп}}$:

$$V_{\text{ц}} \leq V_{\text{ц доп}} ; \quad (2.13)$$

3) величина H , а значит и зависящая от нее длина контакта цепи с грунтом, ограничиваются некоторым допустимым по условиям безопасной работы значением H_{min}

$$\ell \leq \ell_{\text{max}} = f(H_{\text{min}}) \quad (2.14)$$

Таким образом, управление процессом выемки ПМК должно учитывать необходимость выполнения условий: (2.7), (2.10), (2.11), (2.12), (2.13) и (2.14). При этом, для выполнения этих условий в первую очередь должно изменяться $V_{ц}$, затем H и только при невозможности выполнить условия изменением $V_{ц}$ и H изменяется V_a .

При выемке с движением агрегата сбора поперек уклона величина ℓ в двух крайних ветвях цепи с ковшами будет разной. В таком случае для расчета $V_{ц}$ по формуле (2.10) или (2.11) принимается меньшее значение ℓ , что обеспечивает перекрытие при выемке на всех ветвях, хотя коэффициент перекрытия на всех ветвях, кроме ветви с наименьшим ℓ , будет больше заданного.

Выполненный анализ подтверждает следующие требования к конструкции добычной установки:

- 1) должно быть предусмотрено оперативное управление скоростью цепи;
- 2) должно быть предусмотрено управление высотой агрегата сбора над грунтом;
- 3) должно быть предусмотрено управление скоростью передвижения агрегата сбора (или всей добычной установки).

Кроме того, в процессе проектирования при выборе шага цепи, диапазона скоростей цепи и агрегата сбора, высота агрегата сбора над грунтом, длины провисающей части цепи, расстояния между точками сбегания цепи следует провести анализ с использованием полученных зависимостей.

Описанная конструкция агрегата сбора отвечает основополагающим требованиям к промышленному агрегату и может быть использована при создании промышленного добычного комплекса.

3. СПОСОБ СПУСКА И ПОДЪЕМА ТРУБОПРОВОДА НА ВОЛНЕНИИ БЕЗ КОМПЕНСАЦИИ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДНА ПРИ СТЫКОВКЕ ТРУБНЫХ СЕКЦИЙ

Одной из проблем при создании комплекса для промышленной добычи ПМК является обеспечение спуска транспортного трубопровода с судна и его подъема на волнении.

Для выполнения этих операций необходимо совмещение осей соединяемых концов уже спущенной части трубопровода, удерживаемой в устройстве удержания, и присоединяемой к ней новой секции.

В известных конструкциях (например, на буровых судах) при относительно невысоком весе спущенного под воду оборудования это достигается с помощью системы компенсации угловых колебаний судна. При этом система удержания спущенной части трубного става и вышка, через которую подается новая секция, устанавливаются на площадке, удерживаемой постоянно в горизонтальном положении системой компенсации /3/.

В комплексах промышленной добычи ПМК вес погружного оборудования катастрофически возрастает, может достигать 1000 тонн и более, длина трубных секций может быть 40-50 м при диаметре 1-2 м. Такая конструкция транспортного трубопровода проработана в НИПИОкеанмаше для промышленного добычного комплекса.

Стыковка трубных секций промышленного комплекса на волнении при таких массах и габаритах традиционным способом вряд ли технически и экономически оправдана. Это потребовало бы создания чрезвычайно тяжелого и энергоемкого оборудования.

Разработан принципиально новый способ стыковки трубных секций на волнении, не требующий применения компенсаторов угловых колебаний /4/.

Идея нового способа заключается в жестком соосном удержании стыкуемых концов с возможностью их осевого перемещения при заранее установленном произвольном поведении свободных концов спущенной части трубопровода и стыкуемой с ней новой секции.

В результате использования нового способа стыковки секций достигается упрощение операции обеспечения соосности при стыковке путем использования более простых устройств, исключения сложной, энергоемкой и ненадежной системы компенсации угловых колебаний судна.

Схема стыковки трубных секций представлена на рис.3.1.

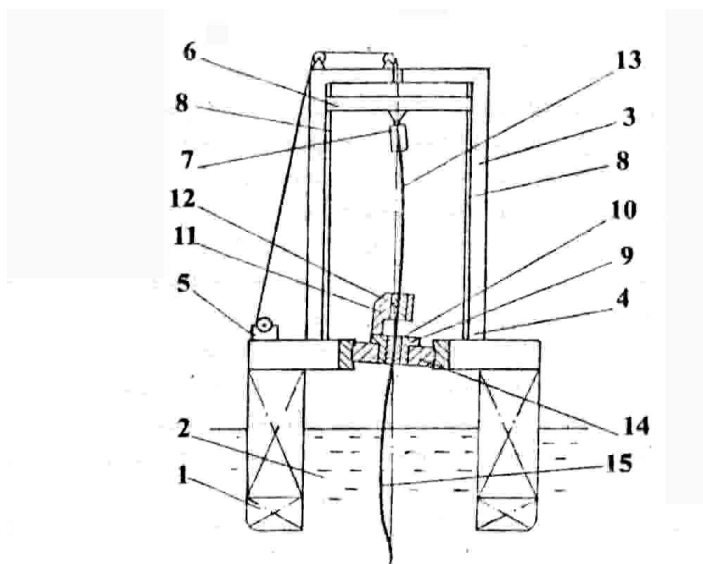


Рис.3.1. Схема стыковки трубных секций

Для реализации способа стыковки секций трубопровода на судне 1 над шахтой 2 установлено спуско-подъемное устройство (СПУ) 3, включающее вышку 4, лебедку 5, верхнюю траверсу 6 с шарнирно закрепленным на ней верхним захватом 7, установленную в направляющих 8 с возможностью перемещения вдоль них, основание 9 с установленным на нем устройством удержания 10. На том же основании 10 устанавливается и жестко фиксируется направляющее устройство 11, направляющий элемент которого 12 допускает перемещение спускаемой секции 13 только в продольном осевом

направлении.

Основание 9 вместе с устройством удержания 10 устанавливается на сферическом шарнире 14 (или карданном подвесе).

Стыковка секций трубопровода при спуске его с плавсредства на волнении осуществляется следующим образом: трубопровод 15, подвешивают и жестко закрепляют в устройстве удержания 10, трубную секцию 13 закрепляют в захвате и при помощи лебедки 5, вместе с верхней траверсой 6 поднимают вверх, при этом траверсу перемещают в направляющих 8 вышки 4 подъемного устройства 3. Нижний конец трубной секции 13 зажимают, с возможностью только продольного осевого перемещения, в направляющем устройстве 11, которое жестко соединяют с основанием 9 устройства удержания 10. Затем трубную секцию 13 лебедкой 5 с помощью траверсы 6, захвата 7 перемещают в

направляющем устройстве 11 до соприкосновения с трубопроводом 17 и соединяют (стыкуют) их.

Отпадает необходимость в применении сложной и громоздкой системы стабилизации. Соосность, необходимая для стыковки, достигается жестким соединением концов трубной секции 13 и трубопровода 17 посредством зажатия конца секции 13 в направляющем устройстве 11 и их сближения при помощи направляющего элемента 12. Таким образом, обеспечивается соосность соединения, сближение и стыковка секций. Установка устройства удержания 10, основания 9 и направляющей 16 на сферические шарниры 14 и 15 (или карданные подвесы) существенно уменьшает изгибные напряжения, естественно возникающие в трубопроводе при крене и дифференте судна во время работы на волнении в трубопровод под действием внешних сил возникают изгибающие напряжения, однако, при большой относительной длине трубной секции (до 40-50 ее наружного диаметра) эти напряжения, действующие кратковременно, не превышают допустимых значений.

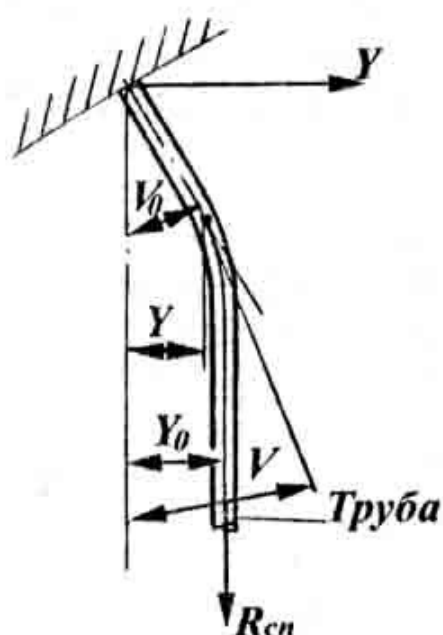


Рис.3.2. Расчетная схема для оценки натяжений в трубопроводе

Рассмотрим на уровне оценочного расчета действующие нагрузки и возникающие в трубной секции напряжения (рис. 3.2).

В основу использования схемы спуска трубного става без компенсатора угловых колебаний судна положена концепция, согласно которой напряжения от изгиба в коренном конце, действующие ограниченный промежуток времени, связанный с монтажом и спуском очередной секции, не оказывают влияния на общую прочность трубы, определяемой продольными циклическими напряжениями. Этому способствует и малая бортовая качка при спуске трубного става, с крупного судна промышленной добычи.

При оценке соотношения напряжений от изгиба и растяжения в коренном конце был принят к рассмотрению наиболее тяжёлый случай жесткой заделки, хотя в конструкции предполагается использование двухточечной шарнирной опоры с расстояниями между опорами около 30 м.

на коренной конец равен

$$M_{изз} = R_{гс} \cdot y_{\omega}$$

где $R_{гс}$ - вес трубного става;

y_{ω} - предельное отклонение оси трубы от вертикали,

проходящей через центр узла подвески (см. рис. 3.2).

Соотношение изгибающего и растягивающего напряжений равно

$$\bar{\sigma}_{изг} = \frac{\sigma_{изг}}{\sigma_p} = \frac{M_{изг} \cdot S}{W \cdot R_{мс}} = \frac{8 \cdot y \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2)}{(d_n^3 - d_{вн}^3)} \approx \frac{12 \cdot y_{\omega}}{d_n}$$

где S - площадь поперечного сечения трубы;

W - момент сопротивления поперечного сечения трубы;

$\sigma_{изг}$ - напряжение от изгиба;

σ_p - напряжение от растяжения;

d_n - наружный диаметр трубы;

$d_{вн} = (d_n - 2\delta)$ - внутренний диаметр трубы;

δ - толщина стенки трубы.

Уравнение изгиба продольной оси трубы от усилия $R_{тс}$, приложенного вертикально, имеет вид

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{R_{мс} \cdot (y - y_{\omega})}{E \cdot J_x}$$

где E - модуль упругости материала трубы;

J_x - момент инерции поперечного сечения трубы.

В уравнении изгиба для упрощения анализа не учтено гидродинамическое сопротивление трубы при поперечном колебательном движении, поскольку преобладающее влияние оказывает продольное натяжение трубы. Уравнение изгиба задано также в статической форме, поскольку период бортовой качки меньше постоянной времени переходного процесса при поперечном движении трубы и не способствует увеличению амплитуды отклонения.

При начальных условиях для $z=0$ $y=0$ и $(dy/dz) \approx \theta_0$ уравнение продольной линии трубы имеет вид

$$Y = Y_{\infty} (1 - \text{ch}(z/Tz)) + Tz \cdot \theta_0 \cdot \text{sh}(Z/Tz) \cdot \text{sh}(z/Tz),$$

где $Tz = (E \cdot J_x / R_{тс})^{0,5}$ - постоянная продольного изгиба.

При $z = \infty$, $y = y_{\infty} = Tz (\theta_0)$.

Уравнение продольного изгиба трубы при этом упрощается до

$$Y = Y_{\infty} (1 - \exp(-z/Tz)).$$

При параметрах $\theta_0 = 0,90$, $R_{тс} = 10$ МН, $d_n = 1$ м характеризующих рассматриваемую систему подъема, имеем: $Tz = 12,1$ м ($\delta \approx 0,02$ м), $Y_{\infty} = 0,19$ м и $\bar{\sigma}$ изг = 2,3.

Изгибная деформация трубы практически заканчивается на длине $3Tz = 36,3$ м.

Так как трубный став подвержен действию циклической растягивающей нагрузки, с учётом эксплуатации в морской воде, влияния масштабного фактора, влияния местных концентраций напряжений коэффициент запаса по циклическим нагрузкам достигает 5. В процессе монтажа секций и спуска трубного става появляются дополнительные изгибающие напряжения, которые приводят к временному местному снижению общего коэффициента запаса до 1,5. При этом следует учитывать, что для оценки взяты заведомо более жесткие условия - жесткая заделка коренного конца трубы. Такое местное и временное понижение коэффициента запаса не может негативно повлиять на работоспособность конструкции трубного става, так как нагрузки в этом случае являются статическими и для обеспечения прочности требуются более низкие коэффициенты запаса. В связи с изложенным, вполне приемлемым является монтаж секций трубного става в фиксированном положении, исключая угловые перемещения, что упрощает конструкцию спуско-подъемного устройства.

Разработано оборудование, обеспечивающее реализацию в промышленном добычном комплексе нового способа сборки трубного става на волнении.

Предложенный способ спуска и подъема трубопровода позволяет успешно решить проблемы монтажа, демонтажа, спуска и подъема транспортного трубопровода комплекса промышленной добычи ПМК без создания громоздких, дорогостоящих и недостаточно надежных технических средств компенсации угловых колебаний судна на волнении.

4. УДЕРЖАНИЕ СПУЩЕННОГО С ПЛАВСРЕДСТВА ТРУБОПРОВОДА С ОБОРУДОВАНИЕМ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ВОЛНЕНИИ

Компенсация качки судна на волнении при добыче ПМК продлевает жизнь транспортного трубопровода и сохраняет оборудование при штормовом отстое.

В аналогичных случаях (для удержания колонны буровых штанг) применяют пневмогидравлические системы компенсации качки /5/. В этих системах гидроцилиндры-компенсаторы, соединенные с пневмогидравлической системой, удерживают колонну буровых штанг, ограничивая ее вертикальные перемещения на волнении. Эти системы компенсации с точки зрения применения их для промышленного комплекса имеют тот недостаток, что весь вес подвешенного на них оборудования воспринимают гидроцилиндры-компенсаторы и пневмогидравлическая система.

Для промышленного глубоководного добычного оборудования, вес под водой которого может достигать 1000 и более тонн, увеличение грузоподъемности системы прямым увеличением самой системы является бесперспективным. Такая конструкция будет сложной, громоздкой и, в связи с ростом удельных нагрузок, недостаточно надежной.

Новая, разработанная в НИПИОкеанмаш /6/, система удержания и компенсации колебаний спущенного с плавсредства оборудования промышленного добычного комплекса (далее - система компенсации) при сохранении известных отработанных элементов снабжена специальным демонтируемым понтоном с устройством крепления его к погружной части трубопровода, что значительно снижает удельные нагрузки на пневмогидрокомпенсатор, упрощает его конструкцию и повышает надежность всей добычной системы.

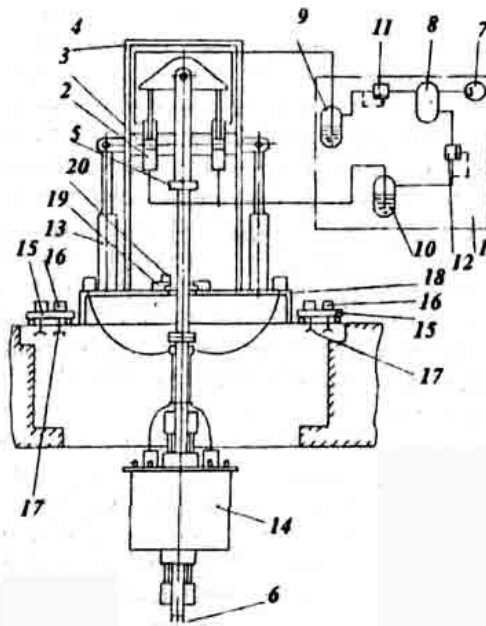


Рис.4.1. Схема компенсации вертикальных колебаний судна на волнении

Система компенсации (рис. 4.1) состоит из пневмогидрокомпенсатора 1, включающего гидроцилиндры 2, установленные на траверсе 3 спуско-подъемного устройства (СПУ) 4. Штоки гидроцилиндров 2 соединены с траверсой, на которой установлен верхний захват 5, удерживающей трубопровод 6. Штоковая и поршневая полости гидроцилиндров соединены рукавами с гидросистемой, входящей в состав пневмогидрокомпенсатора 1, включающей компрессор 7, ресивер 8, частично заполненные рабочей жидкостью емкости 9 и 10, соединенные с ресивером 8 через пневмоклапаны 11 и 12.

Траверса 3 соединена с подъемными гидроцилиндрами 13. На трубопроводе 6 закреплен понтон 14, который в рабочем состоянии погружен в воду. Понтон (рис.4.2) состоит из двух полупонтонов 1, установленных на специальной секции 2 с опорой на ее буртики.

Имея на концах соединительные элементы, спецсекция представляет собой устройство для крепления понтона к погружной части трубопровода. Полупонтоны 1 представляют собой емкости с отверстиями в днище и полуцилиндрическими выступами 3. Полупонтоны соединены между собой кольцами 4, посаженными на буртики спецсекции и надвинутыми в рабочем состоянии на полуцилиндрические выступы 3 полупонтонов. Таким образом, посредством буртиков спецсекции, полуцилиндрических выступов 3 понтонов и колец 4 полупонтоны жестко соединены между собой и со спецсекцией 2. На спецсекции установлены гидроцилиндры 5, штоки которых соединены с кольцами 4. Гидроцилиндры соединены рукавами с гидросистемой 6, включающей распределитель 7.

На полупонтонах в верхней части установлены пневмоклапаны 8, соединенные рукавами с пневмосистемой 9, включающей распределитель 10.

В нерабочем положении полупонтоны 2 устанавливаются в нишах шахты судна и зацепляются за фланцы.

Для перемещения полупонтонов устройство (рис.4.1) имеет тележки 15 и подъемники 16 с захватными устройствами 17. На полупонтонах имеются проушины под захватные устройства 17. На рабочей площадке 18 СПУ установлены нижнее удерживающее устройство 19 и устройство соединения трубных секций 20.

После спуска трубопровода 6 последнюю его рабочую секцию закрепляют в удерживающем устройстве 19.

Спецсекцию 2 (рис 4.2) закрепляют верхним захватом 5 (рис.4.1) и с помощью подъемных гидроцилиндров СПУ подают до соединения ее нижнего конца с верхним концом

последней рабочей секции трубопровода 6. С помощью устройства соединения трубных секций 20 (рис.4.2) спецсекцию 2 соединяют с последней рабочей секцией трубопровода 6 (рис.4.1). Полупонтоны в состоянии хранения располагаются в нишах.

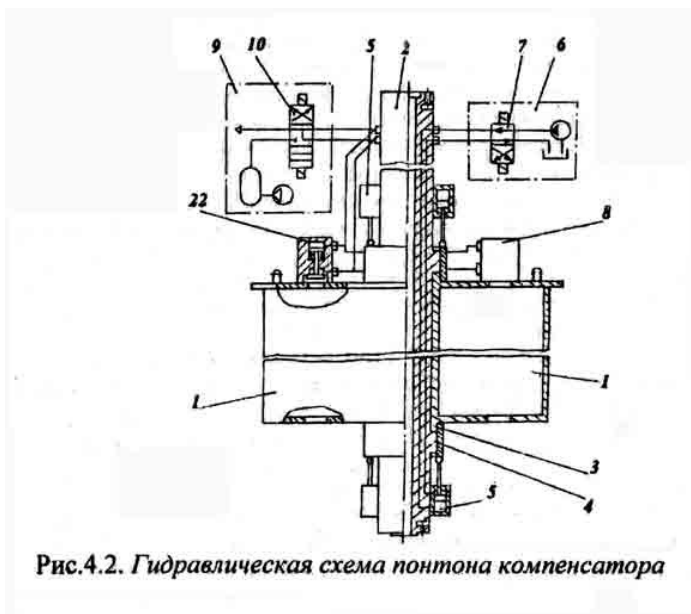


Рис.4.2. Гидравлическая схема понтона компенсатора

Разводят удерживающее устройство 19, спецсекцию 2 (рис.4.2) вместе со всем трубопроводом 6 опускают с помощью подъемных гидроцилиндров 13 вниз, при этом она занимает положение на уровне полупонтонов и готова к монтажу на ней полупонтонов. Тележки 15 устанавливают над полупонтонами, подъемник 16 с захватным устройством 17 соединяют с полупонтонами.

Тележки 15 перемещают полупонтоны (рис.4.2) до соприкосновения с спецсекцией 16. Рукавами соединяют пневмосистему

23 с пневмоклапанами 22.

С помощью гидроцилиндров 5 кольца 4 надвигают на полуцилиндрические выступы 3, тем самым соединяют полупонтоны 1 и спецсекцию 2 в единый понтон, при этом управление гидроцилиндрами 5 осуществляют распределителем 7 гидросистемы 6.

Дальше с помощью СПУ 4 (рис.4.1) и его подъемных гидроцилиндров 13 опускают понтон 14 на необходимую глубину под воду. В процессе движения вниз или после его завершения полости полупонтонов продувают воздухом, подавая его из пневмосистемы 9 (рис.4.2) посредством распределителя 10 по рукавам в пневмоклапан 8. Воздух проходит в полость полупонтона 1, вытесняя воду, которая выходит в отверстие внизу.

Понтон, получая положительную плавучесть, воспринимает на себя часть веса подводного трубопровода и оборудования (это может быть, например, 90% веса), и только оставшуюся часть веса воспринимает пневмогидрокомпенсатор 1.

Посредством пневмоклапанов 11 и 12 (рис.4.1) устанавливают необходимое давление в емкостях 9 и 10. При этом компрессор 7 обеспечивает давление в пневмогидросистеме. Рабочая жидкость из емкостей 9 и 10 по трубопроводам поступает в соответствующие полости гидроцилиндров 2.

Таким образом, трубопровод 6 вместе с оборудованием оказывается “подвешенным” на пневмогидрокомпенсаторе. При вертикальной качке судна трубопровод остается практически неподвижным. Благодаря наличию понтона 14 пневмогидрокомпенсатор 1 воспринимает только часть веса, опущенного в воду трубопровода, при этом происходит упрощение конструкции самого компенсатора и повышение его надежности.

Описанная система удержания транспортного трубопровода с оборудованием и компенсации колебаний судна на волнении практически нечувствительна к весу

погружного оборудования, что особенно важно для промышленного добычного комплекса.

5. КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАЩЕНИЯ С КАБЕЛЯМИ НА ДОБЫЧНОМ СУДНЕ

Для обеспечения электроснабжения подводного добычного оборудования и управления им с судна по транспортному трубопроводу прокладываются кабельные коммуникации.

К ним относятся: кабельные линии силового электропитания донного оборудования и насосных агрегатов системы подъема, кабельные линии датчиков, расположенных в гермоконтейнерах по всей длине транспортного трубопровода, кабели управления, телевидения и телеметрии, идущие к донному оборудованию.

В частности, на опытном добычном комплексе, разработку которого осуществил НИПИОкеанмаш, на монтаж одновременно подается до 7 различных кабельных коммуникаций длиной до 6000 м.

Монтаж кабелей по транспортному трубопроводу при его спуске и подъеме осуществляется при наличии угловых и вертикальных взаимных перемещений транспортного трубопровода и судна на волнении, что требует согласования спуска - подъема кабеля со спуском (подъемом) трубопровода. В процессе добычи на участке судно - транспортный трубопровод кабели испытывают многократные циклические нагрузки, которые могут привести к их разрушению.

Одной из серьезных проблем создания комплекса для добычи ПМК является обеспечение обращения с кабелями на добычном судне.

В общем случае в состав средств обращения с кабелями входят кабельные лебедки, кабелеукладчики, компенсаторы натяжения кабелей на волнении, средства прокладки кабелей по судну и системам добычной установки (средства протягивания, обводные блоки, роликоопоры, защитные устройства), средства механизации крепления кабеля к трубному ставу.

Кабельные лебедки, содержащие около 6 км глубоководного тяжелого кабеля, представляют собой довольно громоздкие конструкции, барабан с кабелями имеет массу несколько десятков тонн и являются достаточно инерционными. Например, для бронированного кабеля диаметром 60 мм и допустимым минимальным радиусомгиба 1,2 м барабан имеет наружный диаметр 5 м и длину около 6 м при многослойной навивке.

Учитывая стесненные условия расположения оборудования на судне, важнейшим требованием к кабельным лебедкам является требование о минимально возможных габаритах. Определяющими в этом отношении являются габариты барабана, которые предопределены минимально допустимым радиусом навивки, диаметром и длиной кабеля.

Оптимальной в этом отношении была бы такая кабельная лебедка, габариты которой не отличались бы от габаритов барабана.

Навиваемый на барабан кабель состоит из отдельных секций, соединенных между собой герметичными соединителями (для кабеля диаметром 60 мм их размеры: диаметр 200-220 мм, длина 600 мм). Несмотря на это должна быть обеспечена упорядоченная, без повреждения кабеля соединителями, укладка кабеля с соединителями на барабан.

Наиболее распространенные устройства для упорядоченной укладки кабелей - это кабелеукладчики, которые имеют привод от вала барабана или самостоятельный привод.

Учитывая большие габаритные размеры барабанов кабельных лебедок, большие габариты кабелеукладчика, обусловленные требованием сохранять минимальный радиусгиба до 1200 мм, не представляется целесообразным выполнить кабелеукладчик по существующей известной схеме как одно целое с кабельной лебедкой.

Большие минимально допустимые радиусыгиба кабелей, большие длины кабелей обуславливают большие габариты барабанов, кабельных лебедок, кабелеукладчиков, обводных устройств, что с учетом стесненных условий судна требует поиска новых конструкций оборудования с уменьшенными габаритами.

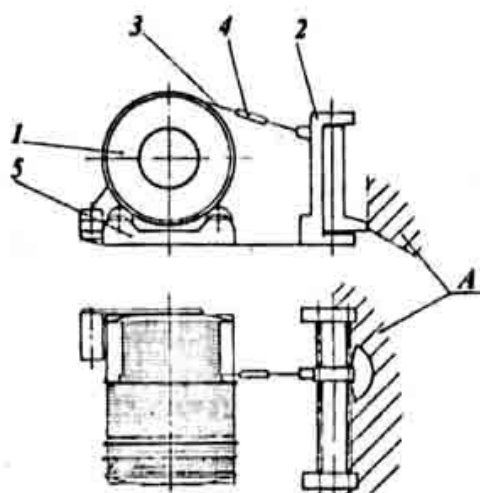
Учитывая вышеизложенное, можно определить основные требования к кабельным лебедкам и кабелеукладчикам.

Кабельная лебедка должна обеспечивать:

- 1) хранение, прием и выдачу кабелей длиной до 7000 м, состоящих из отрезков различной длины с соединителями;
- 2) упорядоченную укладку кабеля с соединителями на барабан, исключаящую повреждение кабеля соединителями;
- 3) минимально возможные габариты, близкие к габаритам барабана лебедки.

Кабелеукладчики должны обеспечивать:

- 1) упорядоченную укладку кабеля на кабельные барабаны;
- 2) подвод кабеля к кабелеукладчику практически из любого направления, в том числе и параллельного оси барабана;
- 3) пропускание соединителей кабелей;
- 4) отсутствие механической связи с кабельной лебедкой;
- 5) минимальные габариты в плане.



Разработана новая конструкция безосной кабельной лебедки (рис.5.1).

Барабан такой лебедки свободно установлен ребрами на опорные ролики, вместе с тем конструкцией лебедки обеспечивается невозможность “выкатывания” барабана из

Рис.5.1. Конструкция безосной кабельной лебедки

опорных роликов в любых условиях эксплуатации. Затяжка тормозной ленты обеспечивает также безопасное крепление барабана “по-штормовому” в условиях перехода судна в штормовых условиях.

Размещение опорных роликов под барабаном позволило выполнить опорную раму лебедки по габаритам в плане, близкой к габаритам кабельного барабана.

Учитывая, что длины отрезков кабеля могут изменяться в зависимости от конкретных условий, а также возможность использования лебедки для других работ, связанных со спуском кабеля на большие глубины, с целью обеспечения универсальности лебедки конструкция барабана должна обеспечивать возможность изменения кабелеемкости секции. При этом должна быть обеспечена возможность перемещения перемычки вдоль оси барабана простыми средствами и фиксации ее в любом положении. Эта задача, а также задача упорядоченной укладки кабеля с соединителями на барабан также решена в лебедке новой конструкции (рис. 5.1).

Конструкция барабана позволяет навивать кабель с соединенными муфтами, что исключает ручную операцию по их соединению (они заранее соединены) и вместе с тем позволяет обеспечить упорядоченную укладку кабеля при наличии соединенных муфт.

Простыми средствами обеспечивается изменение кабелеемкости секций барабана.

Укладка кабеля осуществляется с помощью кабелеукладчика. На отдельных участках перехода кабеля управление кабелеукладчиком и лебедкой может взять на себя оператор.

Таким образом, решена задача хранения, выдачи, приемки секционного кабеля необходимой длины с крупными соединителями между секциями.

Учитывая большие габариты вьюшек и кабелеукладчиков, для удобства их взаимного расположения, облегчения монтажа кабелеукладчик целесообразно выполнить отдельно, механически не связанным с лебедкой, изделием. В таком случае обязательным является отсутствие механической связи с лебедкой, а управление движением каретки может осуществляться с помощью датчиков, которые обеспечивают упорядоченную укладку кабеля на барабан.

Такое конструктивное решение заложено в проекте нового кабелеукладчика (рис. 5.1).

С точки зрения уменьшения габаритов в плане (габариты по высоте практически не ограничиваются) преимущество имеет кабелеукладчик с горизонтальными осями обводных блоков.

Найдено принципиально новое техническое решение, обеспечивающее выполнение заданных требований с сохранением горизонтального расположения осей обводных блоков.

Новое конструктивное решение позволяет осуществить подвод кабеля в большом угловом диапазоне. Кроме того, обеспечивается возможность подвода кабеля по оси, параллельной оси барабана, и пропускка через кабелеукладчик кабеля с соединенными кабельными муфтами.

Приведенные выше технические решения позволили создать комплекс кабельная лебедка-кабелеукладчик (рис. 5.1), отличительной особенностью которого является возможность

обеспечения выдачи кабеля в широком диапазоне углов в плане, обеспечение работы лебедки как с верхней, так и с нижней выдачей кабеля, неограниченные возможности размещения лебедки и кабелеукладчика по отношению к линии выдачи кабеля, упорядоченную укладку на барабане кабеля с соединительными муфтами.

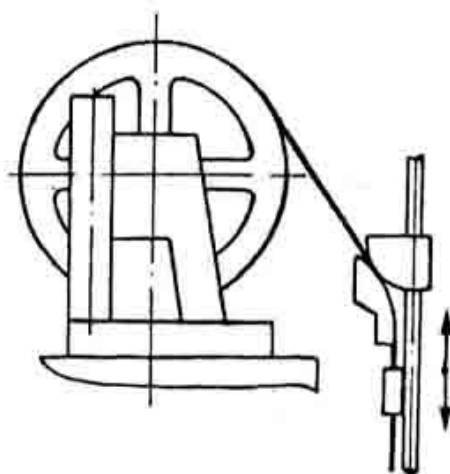
Как отмечалось выше, одна из задач обращения с кабелями - компенсация взаимных перемещений трубопровода с закрепленными на нем кабелями и судна на волнении.

Исходя из необходимости сохранения кабельных коммуникаций и поддержания их в рабочем состоянии, между кабельной лебедкой и транспортным трубопроводом при спуске-подъеме кабелей должно быть размещено компенсационное звено, которое должно обеспечивать согласование подачи кабеля со спуском транспортного трубопровода, поддержание постоянного натяжения кабелей при колебаниях судна на волнении.

Известные конструкции компенсаторов не удовлетворяют заданных требований, они имеют значительные габариты, не обеспечивают быстрой замены (ремонта) слабых звеньев на ходу.

НИПИокеанмашем разработан проходной компенсатор новой конструкции.

Этот компенсатор (рис. 5.2) относится к пассивному типу, не требует подвода дополнительной энергии.



При спуске (подъеме) кабель 1 пропускается через компенсатор 2, который компенсирует ход кабеля на волнении, обеспечивая его постоянное натяжение при спуске, подъеме, работе погружного оборудования и штормовом отстое.

Компенсатор работает в комплексе с кабельной лебедкой и является буферным звеном между спускаемым объектом и кабельной лебедкой.

При спуске компенсатор работает в режиме компенсации колебаний судна, при этом кабель выбирается из компенсатора, после чего автоматически включается кабельная лебедка, наполняя кабель в компенсатор. При

этом может продолжаться спуск, обеспечивается постоянное натяжение сбегавшей ветви кабеля 3.

Компенсатор имеет минимально возможные габариты корпуса 4, определяемые минимально допустимым радиусомгиба кабеля в пространстве.

Для компенсации хода кабеля 5 используется пневмогидравлическая система 6. При этом обеспечивается практически необходимое число циклов перегибов кабеля, возможна замена “слабых” звеньев по наработке без остановки компенсатора - “на ходу”.

Рис.5.3. Компенсатор концевой

Следует отметить, что при добыче функция компенсации хода кабеля на волнении аналогична функции компенсации при спуске-подъеме кабеля, но имеются существенные различия.

Если при спуске (и подъеме) кабеля каждый его участок один раз проходит любую точку перегиба, и разрушающее воздействие на него циклических нагрузок кратковременно, то при добыче один и тот же участок конечного отрезка кабеля длительное время (весь период добычи) подвергается циклическим изгибающим нагрузкам в местах перегиба, ориентировочно около 400 циклов в час.

По этим причинам средства компенсации хода кабеля при добыче и штормовом отстое должны отвечать дополнительным, по сравнению со спуском-подъемом кабелей, требованиям в части обеспечения стойкости кабелей при циклических нагрузках. С этой целью в состав кабельной линии включен конечный отрезок кабеля (гибкая вставка) длиной около 150 м - кабель специальной конструкции, повышенной гибкости, выдерживающий значительные циклические нагрузки.

Для обеспечения работы этого кабеля, компенсации колебаний на волнении необходимо применение концевых компенсаторов.

Разработана новая конструкция компенсатора такого типа /7/.

Компенсатор (рис. 5.3) наматывает на барабан 1 и сматывает с барабана концевой отрезок 2 глубоководной кабельной линии 3 с одновременной компенсацией хода кабеля на волнении, обеспечивает его постоянное натяжение.

В связи с тем, что длина кабеля и, соответственно, масса барабана небольшие, постоянное натяжение кабеля поддерживается за счет подмотки кабеля, для этого барабану 1 передается постоянный крутящий момент в направлении подмотки.

С целью обеспечения монтажа конечного участка кабельной коммуникации, компенсатор снабжен приводом 5, который может осуществлять выдачу (подмотку) кабеля при спуске-подъеме.

После окончания спуска трубопровода 6 обеспечивается компенсация хода кабеля (до ± 7 м) при работе погружного оборудования и штормовом отстое. При этом создается постоянное натяжение кабеля, без потребления энергии от судовых систем. Для компенсации используется пневмо-гидравлическая система 7 компенсатора, конструкция которого допускает замену "слабых" звеньев компенсатора по наработке "на ходу" без остановки работы компенсатора.

НИПИокеанмаш располагает новыми техническими решениями, позволяющими обеспечить создание системы обращения с кабелями для комплекса промышленной добычи ПМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.П.Зиборов, В.П.Кузьминский, В.Ф.Франчук. Разработка технических средств для добычи железомарганцевых конкреций со дна океана//Тезисы доклада Междунар. Конф. “Сучасні шляхи розвитку гірничого обладнання і технологій переробки мінеральної сировини”.-Дніпропетровськ. -1997. -С.6.
2. Заявка 57-10275 Японии, МКИ E21C 45/00. Устройство для непрерывной добычи руды с морского дна//-ИСМ. -Вып. 84. -№17. -1983.-С.47.
3. Патент № 4200054В США, МКИ В 63В 35/44.Подземная вышка и оборудование для судов, ведущих добычу полезных ископаемых со дна океана//.РЖ. -1981. -1Б374.
4. Патент № 18989А Украины, МКИ В 63В 27/16. Способ стыковки секций трубопровода при спускании его с плавсредства на волнении/В.П.Кузьминский, В.Г.Кравченко, Ю.М.Кузнецов// Промислова власність. -1997. -№6. -ч. -С.3.І 205.-3.1.2-6.
5. Патент № 2942303 ФРГ, МКИ E21C 45/00.Способ разборки отложений на дне моря//ИСМ.-Вып. 81.-1981.-№9.-С.62.
6. Патент № 21479А Украины МКИ. Устройство для компенсации колебаний на волнении опущенного плавсредства трубопровода/В.П.Кузьминский//Промислова власність.-1998.-№2.
7. Патент № 16873 Украины. МКИ. Устройство для навивки кабеля/В.П.Кузьминский//Промислова власність.-1997.-№4.