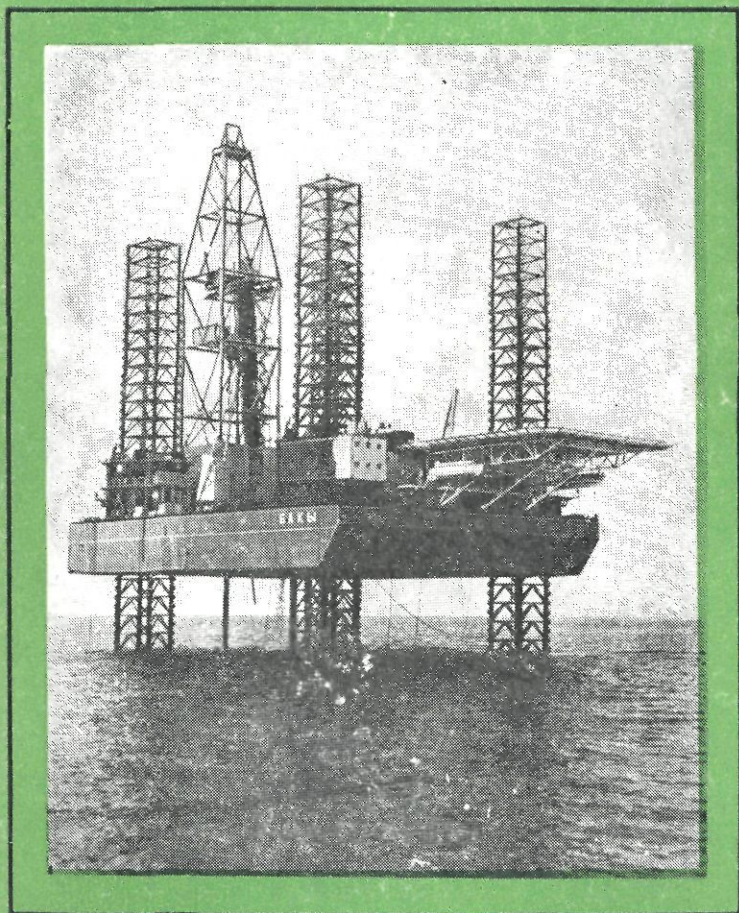


САМОПОДЪЕМНЫЕ ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ



САМОПОДЪЁМНЫЕ
ПЛАВУЧИЕ
БУРОВЫЕ
УСТАНОВКИ



Москва «НЕДРА» 1979

Самоподъемные плавучие буровые установки/Ю. А. Агагусейнов, Э. Л. Вишневская, И. П. Кулиев и др. М., Недра, 1979. 215 с.

В книге изложены основные вопросы конструирования, расчета и эксплуатации плавучих буровых установок самоподъемного типа (ПБУ). Описываются конструкции применяемого для ПБУ технологического оборудования, механических установок, электрического и энергетического оборудования, судовых устройств и систем.

Приводятся конструкции опорных колонн, подъемников и систем их управления. Изложены методы определения внешних нагрузок на ПБУ и даны методики расчета ПБУ как гидротехнического и плавучего сооружения. Даются также методики расчета основных элементов ПБУ (опорных колонн, корпуса и т. д.).

Книга рассчитана на инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией плавучих буровых установок и других самоподъемных платформ различного назначения. Она также может быть использована студентами нефтепромысловых, гидротехнических и кораблестроительных факультетов.

Табл. 21, ил. 64, список лит. — 48 назв.

Авторы: Ю. А. Агагусейнов, Э. Л. Вишневская, И. П. Кулиев, С. Р. Лейбензон, А. Б. Маршлок, М. Н. Мочалов, В. Г. Саркисов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Растущее потребление топлива и в первую очередь нефти и газа обуславливает усиление внимания к проблемам их добычи не только на суше, но и на акваториях морей и океанов. По этой причине последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием добычи нефти на море.

Проблема использования минеральных, топливных и сырьевых ресурсов мирового океана во второй половине XX столетия стала одной из важнейших экономических проблем.

В настоящее время поисково-разведочные работы на акваториях морей проводятся более чем ста странами. Особенно интенсивно эти работы ведутся в шельфовых зонах стран, омываемых морями и океанами. Практически более чем в 20 странах мира, имеющих в шельфовых зонах месторождения нефти и газа, организована их разработка. Интенсивное развитие морской нефтегазодобычи явилось основой создания новой отрасли нефтяной науки и техники — морского нефтепромыслового дела.

Открытие и вовлечение в разработку новых морских нефтегазовых месторождений полностью зависят от создания и внедрения рациональных конструкций гидротехнических сооружений и особенно плавучих буровых средств (самоподъемных буровых установок — ПБУ, полупогружных буровых платформ — ППФ, буровых судов — БС).

Разведка и разработка морских нефтяных месторождений имеет большое народнохозяйственное значение для нашей страны.

Следует отметить, что морская нефтедобыча в недалеком будущем явится одним из основных источников удовлетворения быстро растущих потребностей нашей страны. Это подтверждается, во-первых, высокой эффективностью капитальных вложений в разработку морских нефтяных месторождений; во-вторых, тем, что эксплуатация нефтяных месторождений на море рентабельна.

Попытки добыть нефть из горизонтов, залегающих под дном моря, были предприняты еще в прошлом столетии. В 1824—1825 гг. бакинec Касумбек построил два нефтяных колодца в 9 и 15 сажнях от берега. Впервые вопрос о промышленной разработке морских площадей возник в связи с открытием в конце прошлого века нефтеносных структур в районе Бибиэйтской бухты. Уровень техники того времени предопределил

единственно возможный путь решения этой проблемы: засыпку бухты.

Следующим этапом в освоении морских нефтяных залежей было строительство оснований островного типа. В 1925 г. было построено первое такое основание на деревянных сваях и была пробурена первая в мире морская скважина. В 1934 г. началось сооружение металлических оснований для бурения морских скважин.

Широкая разработка морских нефтяных месторождений началась на Каспийском море в 1946—1949 гг. в связи с разработкой более совершенных конструкций морских оснований — крупноблочных оснований.

В тридцатые годы братьями Хубенцовыми была построена деревянная баржа, на которой было установлено буровое оборудование. Эта баржа явилась прообразом современных плавучих буровых установок погружного типа.

В 1956—1958 гг. в Гипроморнефти были начаты работы по созданию мобильных средств для бурения на море. Была спроектирована и в 1959 г. построена и введена в эксплуатацию первая в СССР плавучая буровая установка погружного типа, предназначенная для бурения скважин глубиной до 1200 м на глубинах моря до 6,5 м. С помощью этой установки за 3 года эксплуатации пробурили более 50 структурно-поисковых скважин и была доказана высокая технико-экономическая эффективность мобильных установок. Установка окупилась себе менее чем за 1 год.

В 1966 г. была построена и введена в эксплуатацию ПБУ «Апшерон» для бурения скважин глубиной 1800 м на глубинах моря до 15 м. Установка обеспечивает ежегодную экономию нескольких сотен тысяч рублей. Позднее была разработана и построена более мощная ПБУ «Азербайджан», оснащенная оборудованием для бурения скважин глубиной до 3000 м на глубинах моря до 22 м.

Высокая технико-экономическая эффективность буровых установок, перспективы развития добычи нефти на море и особенно необходимость освоения месторождений на больших глубинах моря потребовали создания мощных самоподъемных установок, с которых возможно было бы проводить глубокие разведочные скважины на глубинах моря до 60—70 м. С этой целью в 1971—1973 гг. Гипроморнефтью была разработана конструкция новой самоподъемной плавучей буровой установки «Бакы». Установка была построена на судостроительных заводах г. Астрахани и введена в промышленную эксплуатацию в 1975 г.

Ведется строительство серии таких установок. Намечается также создание ПБУ для глубин моря до 100—120 м.

Самоподъемные плавучие буровые установки обеспечивают возможность ведения буровых работ практически при любых

гидрометеорологических условиях. Это одно из основных преимуществ самоподъемных установок по сравнению с другими передвижными буровыми средствами.

Созданию отечественных конструкций плавучих буровых установок предшествовало проведение большого комплекса теоретических, экспериментальных и конструкторских работ. За последние 20 лет разработаны и практически осуществлены новые технические решения таких проблем, как создание гидравлических подъемников большой грузоподъемности и системы управления ими, системы закрытого хранения и транспортировки порошкообразных материалов, регулируемого электропривода главных технологических механизмов с применением тиристорных преобразователей, разработаны методики расчета ПБУ как гидротехнического и плавучего сооружения и т. д. Ведутся работы по созданию Правил классификации и постройки плавучих буровых установок, комплекса подводного устьевого оборудования и др.

Теоретические, экспериментальные и конструкторские работы Гипроморнефти являются в настоящее время основным источником информации, необходимым при проектировании самоподъемных установок.

Книга написана коллективом авторов под общим научным руководством профессора И. П. Кулиева. Специальные вопросы по технологическому оборудованию и подъемным устройствам написаны Ю. А. Агагусейновым, по конструированию корпуса и расчетам сооружения на плавучесть — Э. Л. Вишневской, по общей компоновке, судовым устройствам, системам и энергетическому оборудованию — С. Р. Лейбензоном, по электротехнической части и системам управления подъемниками — А. Б. Маршлок, по выбору типа ПБУ и технологическому оборудованию — М. Н. Мочаловым, по расчетам ПБУ как гидротехнического сооружения, расчетам и конструированию опорных колонн — В. Г. Саркисовым.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Гипроморнефти В. В. Бакулиной, В. М. Епифанову, Н. Ю. Икорской и И. А. Пановой, оказавшим большую помощь при подготовке рукописи к печати.

Глава I

НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И КОМПОНОВКА ПБУ

§ 1. КЛАССЫ И ТИПЫ ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ СРЕДСТВ

Плавающие буровые средства предназначены для бурения скважин на нефть и газ на месторождениях континентального шельфа. В настоящее время построены и эксплуатируются плавающие средства следующих типов.

Тип I. Погружные плавающие буровые установки, состоящие из нижнего водоизмещающего корпуса и жестко связанной с ним верхней (рабочей) площадки, с которой ведется бурение. В рабочем состоянии нижний корпус заполняется водой и погружается на дно; верхняя площадка остается на определенном уровне над поверхностью воды.

Тип II. Самоподъемные плавающие буровые установки имеют корпус, обладающий достаточной плавучестью для безопасной транспортировки всей установки с оборудованием и запасами к месту бурения. На точке бурения корпус поднимается и удерживается на заданной высоте над уровнем воды с помощью специальных подъемных механизмов и колонн, опирающихся на морское дно (рис. 1—3).

Тип III. Плавающие буровые платформы полупогружного типа имеют корпус, состоящий из понтонов, и верхнюю (рабочую) площадку, связанные между собою стабилизирующими колоннами (поэтому их иногда называют платформами со стабилизирующими колоннами). В рабочем состоянии понтоны погружены на 20—25 м под воду; при этом резко сокращается площадь действующей ватерлинии и уменьшается влияние волнения моря на платформу.

Полупогружные платформы удерживаются на точке бурения с помощью якорей или системы динамической стабилизации.

Тип IV. Буровые суда удерживаются над точкой бурения с помощью якорей или системы динамической стабилизации.

До настоящего времени еще не выработана единая классификация этих установок в международном масштабе и поэтому в различных источниках информации плавающие буровые средства классифицируются по-разному. Целесообразно классифицировать плавающие буровые средства в зависимости от их рабочего (эксплуатационного) положения в процессе бурения скважин.

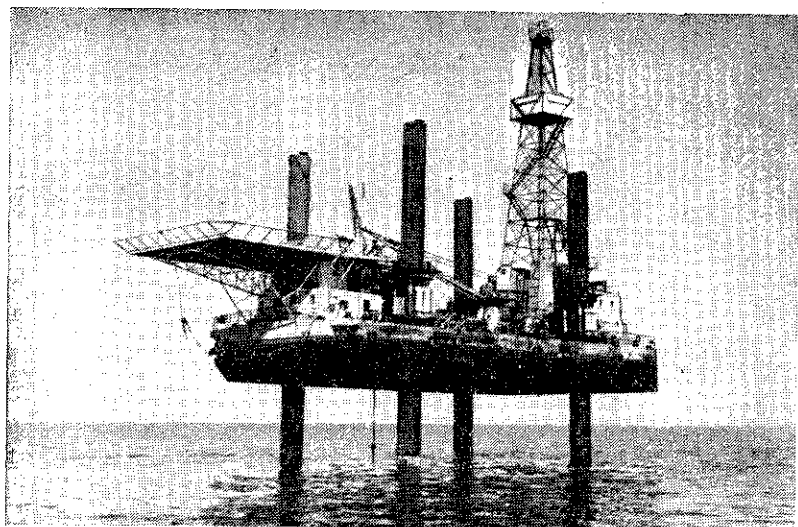


Рис. 1. Плавающая буровая установка (ПБУ) 1800/15 «Апшерон» в рабочем положении

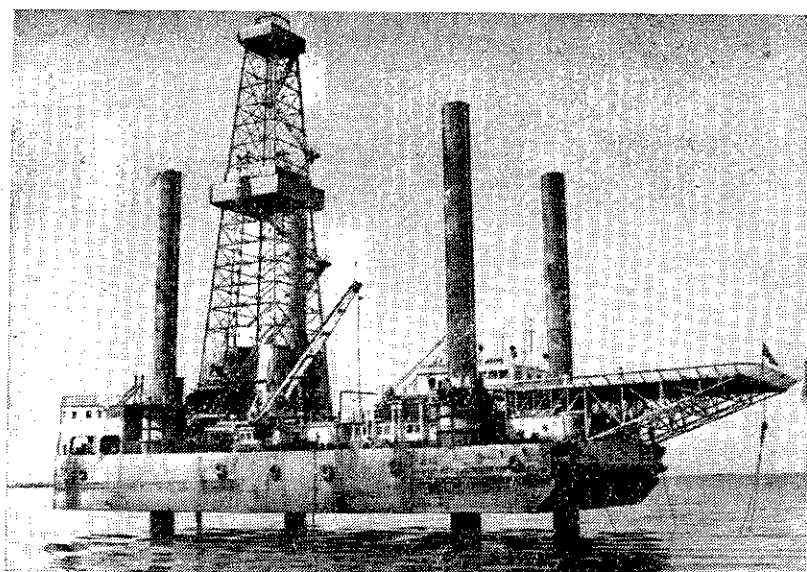


Рис. 2. Плавающая буровая установка (ПБУ) 3000/20 «Азербайджан» во время перевода из транспортного положения в рабочее

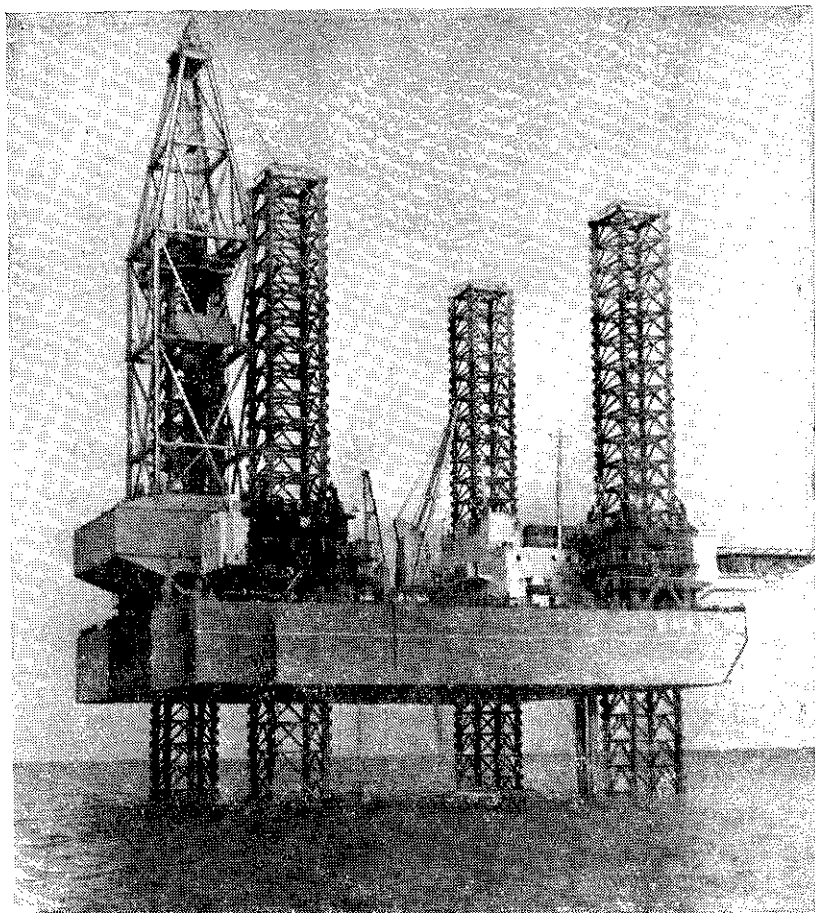


Рис. 3. Плавающая буровая установка (ПБУ) 6000/60 «Баку» в рабочем положении

С этой точки зрения все типы плавучих буровых средств можно разбить на два класса.

1-й класс: плавучие буровые средства, опирающиеся на морское дно. К ним относятся погружные и самоподъемные плавучие буровые установки.

2-й класс: плавучие буровые средства, с которых ведется бурение скважины в положении на плаву. К ним относятся буровые суда, полупогружные платформы.

По зарубежным данным 1965—1970 гг., американские специалисты рекомендовали использовать плавучие буровые средства в зависимости от глубины моря:

| | |
|---|---------------|
| Погружные | до 45 м |
| Самоподъемные | от 15 до 75 м |
| Полупогружные установки и буровые суда на якорях | 30—200 м |
| Полупогружные установки и буровые суда с динамической системой стабилизации | >200 м |

По мере развития техники, приобретения опыта меняются и рекомендации. В настоящее время созданы плавучие буровые установки самоподъемного типа для глубин моря до 120 м. Созданы проекты таких установок до 180 м.

Выбор класса буровых средств для различных глубин моря определяется экономическими факторами — стоимостью 1 м проходки или стоимостью пробуренной скважины. На стоимость 1 м проходки влияют стоимость строительства установки для бурения и эксплуатационные расходы, которые в свою очередь зависят от затрат на содержание установки и средств обслуживания. На стоимость 1 м проходки существенно влияют простои из-за плохих метеоусловий.

Стоимость арендной платы за сутки (долл.), которая в основном определяется стоимостью строительства установки, для различных типов плавучих средств бурения по зарубежным данным за 1973—1974 гг. приведена ниже:

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Самоподъемные ПБУ | 6500—9000 |
| Полупогружные платформы | 8000—11500 |
| Буровые суда | 9000—13000 |

Наиболее низкую стоимость арендной платы имеют самоподъемные ПБУ, поэтому применение их в соответствующих диапазонах глубин моря предпочтительнее.

При оценке других экономических факторов следует учитывать, что самоподъемные плавучие буровые установки характеризуются высоким коэффициентом использования календарного времени для выполнения буровых операций, поскольку бурение может производиться практически при любых метеорологических условиях. По данным зарубежных источников, полезное время использования сооружения на точке бурения для полупогружной платформы составляет менее 75%, в то время как для самоподъемных установок оно превышает 85%. Это преимущество, а также отсутствие сложной системы управления якорными канатами или динамической системы стабилизации являются достоинствами самоподъемных установок. Этим, очевидно, и объясняется то, что число фирм, строящих самоподъемные ПБУ, непрерывно растет.

Эксплуатировать плавучие буровые средства, опирающиеся на морское дно, гораздо удобнее, так как обслуживающий персонал может работать в условиях, аналогичных условиям при бурении на суше. К преимуществу самоподъемных плавучих буровых установок по сравнению с погружными относится широкий диапазон глубин моря. Так, ПБУ «Азербайджан» рабо-

тает на глубинах моря от 5 до 20 м, ПБУ «Баки» — на глубинах от 20 до 60 м.

§ 2. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ САМОПОДЪЕМНЫХ ПБУ

Самоподъемная плавучая буровая установка представляет собой корпус-понтон, являющийся одновременно и производственной площадкой. На понтоне размещаются: технологическое и энергетическое оборудование, инструменты и запасы материалов, жилые и служебные помещения, склады, площадка для вертолетов и др. Установка имеет колонны, опирающиеся в рабочем положении на морское дно и удерживающие корпус со всем оборудованием и запасами на заданной высоте над поверхностью воды. В транспортном положении (когда установка находится на плаву) опоры подняты над палубой понтона. Специальные подъемные устройства служат для перевода ПБУ из транспортного положения в рабочее и обратно.

ПБУ самоподъемного типа различаются по конструкции и форме корпуса, числу опорных колонн и их конструкции, а также по конструкции подъемных механизмов. В настоящее время ПБУ в основном строят с корпусами, имеющими в плане прямоугольную и треугольную формы; встречаются также корпуса пяти- и шестигранной формы. По количеству опорных колонн ПБУ могут быть трех-, четырех-, шести-, восьми-, десяти-, двенадцати- и четырнадцатиколонные. Опоры ПБУ (вертикальные или наклоняемые) могут быть выполнены в виде колонн (круглого и четырехугольного сечения) со сплошными стенами или решетчатых конструкций (в виде трех- и четырехгранных пространственных ферм).

В настоящее время ПБУ проектируются в основном с вертикальными опорами. Однако при больших глубинах моря для увеличения базы сооружения и, следовательно, повышения устойчивости установки в рабочем положении за рубежом спроектированы и построены ПБУ с наклоняемыми опорами.

Для перевода самоподъемной ПБУ из транспортного положения в рабочее и обратно, т. е. для спуска опорных колонн, задавливания их в грунт и подъема корпуса на необходимую высоту над уровнем воды, спуска корпуса на воду после завершения бурения, выдергивания и подъема опорных колонн, применяются гидравлические и механические подъемные механизмы.

Полный цикл работы ПБУ самоподъемного типа состоит из следующих операций (рис. 4):

- транспортировка ПБУ к намеченной точке бурения;
- подготовка ПБУ к установке на точку бурения;
- спуск опорных колонн до дна моря;

задавливание опорных колонн в грунт;
подъем корпуса ПБУ на заданную высоту над уровнем моря;
стопорение подъемников и подготовка к бурению скважин;
бурение скважин;
подготовка к переводу ПБУ в транспортное положение;
спуск корпуса ПБУ на воду;
выдергивание и подъем опорных колонн;
подъем опорных колонн в транспортное положение.

Если ствол скважины не ликвидируется (при бурении эксплуатационных скважин), после окончания бурения устанавливается блок-кондуктор, к которому крепится ствол скважины.

Поскольку основным эксплуатационным режимом ПБУ является бурение скважин, конструкция установки должна в первую очередь обеспечивать выполнение технологических процессов по проводке скважины, включая:

- 1) строительство и обустройство устья скважины;
 - 2) бурение скважины заданной глубины;
 - 3) приготовление, хранение, циркуляцию и дегазацию бурового раствора, очистку бурового раствора от выбуренной породы (шлама);
 - 4) исследование и анализ кернов выбуренной породы и бурового раствора;
 - 5) приготовление цементного раствора для заливки обсадных колонн;
 - 6) цементирование обсадных колонн: кондуктора, промежуточных и эксплуатационных колонн;
 - 7) прием и транспортировку пневмотранспортом сыпучих материалов (цемента, барита, бентонита) к потребителям и хранение сыпучих материалов в бункерах;
 - 8) электрометрические каротажные работы в процессе бурения скважины;
 - 9) опробование нефтеносных пластов на приток нефтепродуктов;
 - 10) сбор выбуренной породы (шлама) для нейтрализации или последующего вывоза на береговые приемные пункты с целью предотвращения загрязнения морской среды;
 - 11) сжигание продуктов опробования скважины с целью предотвращения загрязнения морской среды.
- На ПБУ должно быть предусмотрено оборудование для сбора, очистки и нейтрализации сточных вод с целью предотвращения загрязнения морской среды.

§ 3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ И АРХИТЕКТУРНЫЙ ТИП ПБУ

Основное назначение ПБУ — проводка разведочных скважин — определяет состав и параметры технологического оборудо-

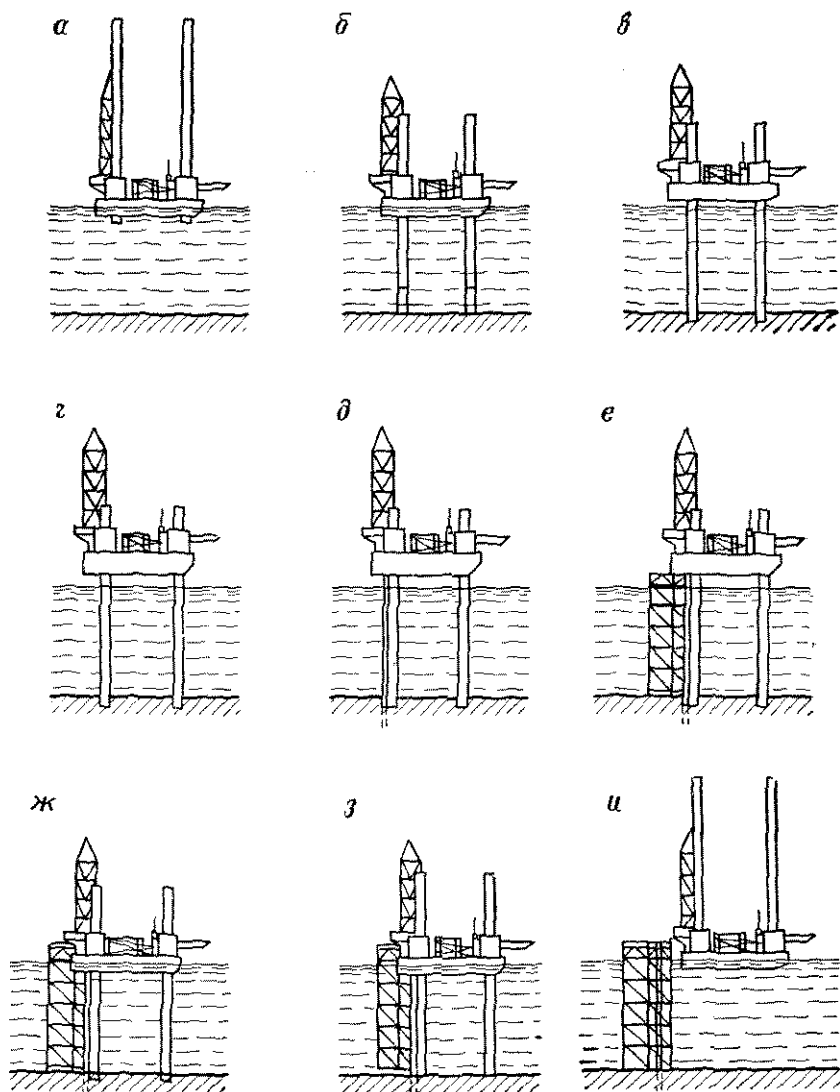


Рис. 4. Полный цикл работы ПБУ:

а — ПБУ в исходном положении до установки на точку бурения; б — опорные колонны опущены до дна моря; в — опорные колонны «задавлены» в грунт; г — ПБУ поднята на заданную высоту над уровнем воды — исходное положение для бурения скважины; д — бурение скважины; е — бурение скважины завершено; установлен блок-кондуктор (только в случае сохранения ствола скважины); ПБУ готова к спуску на воду; ж — корпус ПБУ спущен на воду; з — опорные колонны выдернуты из грунта; и — опорные колонны подняты в транспортное положение, ПБУ готова к переходу на новую точку бурения

дования, которое наряду с гидрометеорологическими условиями эксплуатации, глубиной моря и автономностью является основным критерием при выборе размеров и архитектурного типа ПБУ. Технологическое оборудование предназначается для обеспечения технологических процессов, приведенных выше.

Ниже рассматривается только та часть технологического оборудования, которая имеет значительную массу и размеры и является определяющей для установления площадей и объемов помещений и открытых пространств ПБУ.

Комплекс оборудования, необходимый для бурения скважин роторным или турбинным способом, имеет характеристики, устанавливаемые и зависящие от глубины бурения. Буровая вышка, ротор и спуско-подъемный агрегат этого комплекса размещаются на подвышечном портале, а буровые насосы в трюме. Комплекс оборудования для приготовления, хранения и циркуляции бурового раствора, а также устройства для дегазации и очистки бурового раствора от выбуренной породы размещаются в непосредственной близости к подвышечному portalу. Обычно оборудование для приготовления и цистерны для хранения бурового раствора размещаются в трюме, а устройства для дегазации и очистки бурового раствора устанавливаются на палубе ПБУ.

Комплекс оборудования для приготовления, нагнетания и продавки цементного раствора в скважину располагается в трюме.

Комплекс оборудования для хранения и транспортировки порошкообразных материалов и компрессорная станция системы пневмотранспорта для технологических нужд размещаются в трюме. Оборудование для электрометрических исследований скважины, включающее каротажный подъемник и измерительную аппаратуру, устанавливается, как правило, на уровне, близком к уровню стола ротора. Измерительная аппаратура располагается в закрытом помещении вблизи от каротажного подъемника.

На главной палубе ПБУ размещаются стеллажи для хранения запасов бурильных и обсадных труб — трубная площадка. Для ее обслуживания и для других грузовых операций на палубе устанавливают грузовые краны.

Конструкция подвышечного портала и его размещение на корпусе ПБУ определяются:

возможностью размещения на нем и под ним необходимого технологического оборудования:

возможностью снятия ПБУ с точки бурения;

условиями закрепления ствола скважины после снятия ПБУ с точки бурения;

числом скважин, которые предполагается пробурить с ПБУ без ее перестановки.

Для сохранения надводной части ствола скважины после

снятия ПБУ с точки бурения, а также для обеспечения бурения нескольких скважин без перестановки ПБУ применяется подвышечный портал, перемещаемый вдоль и поперек корпуса. В этом случае при проводке скважин подвышечный портал размещается над проемом в корпусе, который обычно имеет прямоугольную в плане форму по всей высоте корпуса. Длина проема зависит от расположения бурового оборудования на подвышечном портале и его положения относительно корпуса при проводке скважин, а также от габаритных размеров применяемого противовыбросового оборудования. Ширина проема определяется условиями снятия ПБУ с точки бурения и способом закрепления скважины на блок-кондукторе после снятия ПБУ с точки бурения, а также габаритными размерами противовыбросового оборудования.

Следует учитывать, что на глубинах моря до 20 м ствол скважины может в течение некоторого времени оставаться свободностоящим и крепиться к блок-кондуктору после отвода ПБУ от точки бурения. На глубинах моря более 20 м ствол скважины необходимо закреплять на блок-кондукторе. ПБУ для указанных глубин моря выполняются с проемом, ширина которого позволяет ввести часть блок-кондуктора или кронштейны для крепления ствола скважины.

При глубинах моря более 70 м трудно сохранить ствол скважины. Например, при глубине моря 100 м для закрепления ствола скважины требуется блок-кондуктор с массой около 1000 т, установка которого экономически нецелесообразна. В этом случае для сохранения скважины применяется подводное устьевое оборудование для бурения, а надводная часть ствола скважины демонтируется до снятия ПБУ с точки бурения. Такой способ проводки скважины позволяет выполнить подвышечный портал неподвижным и располагать ствол в шахте корпуса (буровая шахта). В некоторых конструкциях подвышечный портал закрепляется на выносных кронштейнах, тем самым ось бурящейся скважины выносится за пределы корпуса и проем в корпусе не делается.

Существенное значение при выборе размеров ПБУ имеют виды и количество запасов, одновременно находящихся на установке, которые в свою очередь зависят от глубины бурения, конструкции скважины и автономности. Под автономностью ПБУ следует понимать время работы установки без пополнения запасов и вывоза отходов при режиме работы, соответствующем собственно бурению. Основную массу запасов, которые необходимо размещать на ПБУ, составляют материалы и инструмент для бурения, топливо для энергетической установки, а также пресная и забортная вода.

Количество запасов материалов и инструмента для некоторых ПБУ приведено в табл. 1.

Запасы топлива, пресной и забортной воды размещаются

Таблица I

| Наименование параметров | ПБУ 1800/5-15 «Апшерон» | ПБУ 3000/5-20 «Азербай- джан» | ПБУ 6000/60 «Баки» |
|---------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| Глубина бурения, м | 1800 | 3000 | 6000 |
| Автономность, сут | 30 | 30 | 30 |
| Запасы, т: | | | |
| трубы бурильные | 60 | 150 | — |
| трубы обсадные | — | 160 | 220 |
| порошкообразные материалы | 200 | 450 | 600 |
| буровой раствор | 120 | 400 | 600 |
| топливо | 60 | 270 | 440 |
| масло | 4 | 17 | 30 |
| пресная вода | 30 | 100 | 100 |
| морская вода | 30 | 100 | 100 |
| провизия | 4 | 9 | 12 |
| химические реагенты | — | 50 | 50 |
| буровой инструмент | 12 | 14 | 28 |
| Итого | 520 | 1720 | 2180 |

преимущественно в междудонных отсеках корпуса. Инструмент для буровых работ — в стеллажах, на подвышечном портале и в помещениях корпуса. Места размещения труб, порошкообразных материалов и цистерн бурового раствора указаны выше.

Кроме перечисленных запасов, на ПБУ предусматриваются отсеки и площадки для хранения отходов бурения (выбуренный шлам, остатки бурового раствора), загрязненной технологической воды, бытовых отходов и отходов энергетической установки. При определении объемов и мест расположения балластных отсеков учитывается, что балластировкой могут достигаться:

у дифферентовка ПБУ, имеющая особо важное значение при постановке и снятии установки с точки бурения;

увеличение массы ПБУ для получения необходимых усилий при задавливании в грунт опорных колонн (преимущественно для трехопорных ПБУ).

Балластные отсеки стремятся размещать вблизи опорных колонн.

Технологическое оборудование является основным потребителем энергии, вырабатываемой энергетической установкой ПБУ. Кроме того, энергия требуется для работы подъемников, общесудовых устройств и систем. Поэтому энергетическая установка занимает значительное место в составе сооружения по объему и массе. Последние зависят от установленной мощности и типов применяемых энергетических агрегатов. Мощность энергетических установок ПБУ изменяется в широких пределах. Метод определения мощности и выбор типа энергетической установки изложены в главах VIII и X.

Энергетическая установка является источником интенсивного тепловыделения и шума. Кроме того, возможно искрообразование из газовыхлопных трубопроводов и электрооборудования. Поэтому энергетическую установку на ПБУ необходимо удалять от устья скважины и других взрывоопасных зон, которые могут создаваться в местах расположения оборудования, участвующего в процессе проводки скважины. Для снижения влияния шума энергетическую установку необходимо по возможности удалять от жилых и служебно-бытовых помещений.

Энергетические установки обычно размещаются в средней части корпуса. Такое решение создает лучшую возможность выемки тяжелых агрегатов энергетической установки ввиду отсутствия рубок в этом месте.

Как было отмечено выше, ПБУ строят с тремя и большим числом опорных колонн. В последнее время преобладают ПБУ с тремя и четырьмя вертикальными опорными колоннами. ПБУ с наклоняемыми опорными колоннами для увеличения базы в рабочем положении получили ограниченное применение ввиду сложности конструкции и возможности обеспечения устойчивости сооружения другими, более простыми решениями.

Четырехопорные ПБУ наиболее распространены для глубины моря до 60 м. Как правило, такие ПБУ имеют прямоугольный в плане корпус с опорными колоннами, расположенными по углам. Упрощение конструкции и удобство эксплуатации четырехопорных ПБУ связаны с возможностью выполнения «задачи» опорных колонн с использованием в основном массы сооружения. Кроме того, прямоугольная форма корпуса по сравнению с треугольной при равных размерах создает более благоприятные условия устойчивости. Несмотря на указанные преимущества, с увеличением глубины моря более широко применяются трехопорные ПБУ. Это объясняется следующим.

С увеличением глубины моря возрастают нагрузки на опорные колонны; повышение прочности и жесткости последних достигается увеличением площади и момента инерции сечения и, следовательно, массы опорной колонны. Необходимая суммарная жесткость опорных колонн у трехопорных ПБУ может быть достигнута при меньшей суммарной массе колонн, чем у четырехопорных. Кроме того, уменьшение числа опорных колонн приводит к уменьшению числа и массы подъемников. Все это привело к преимущественному применению трехопорных ПБУ. Корпуса трехопорных ПБУ имеют преимущественно треугольную или близкую к ней форму. Опорные колонны в этом случае задавливают с помощью дополнительного водяного балласта, для чего в корпусе ПБУ оборудуются соответствующие отсеки.

На архитектурный тип ПБУ влияют конструкция подъемника и размещение опорной колонны в корпусе. Жилые и служебно-бытовые помещения на большинстве ПБУ находятся в

рубках. На некоторых ПБУ эти помещения располагаются в корпусе. При размещении жилых и служебно-бытовых помещений учитывается необходимость создания хороших условий для людей: соблюдение допустимого нормами уровня шума, обеспечение эвакуации команды при аварийных ситуациях, удобство доступа к рабочим местам. Поэтому рубки жилых и служебно-бытовых помещений размещаются в наибольшем удалении от устья скважины. Особенности влияния на архитектурный тип ПБУ оказывают размещение и устройство взлетно-посадочной вертолетной площадки.

В качестве примера ниже приведено распределение площадей на ПБУ 6000/60:

| Наименование помещений | Площадь, м ² |
|--|----------------------------|
| В трюме | |
| Энергетическая установка | 340* |
| Насосное отделение (буровые насосы) | 234 |
| Компрессорная станция технологического оборудования | 81 |
| Склад хранения порошкообразных материалов | 270* |
| Отделение цементировочного комплекса | 162* |
| Цистерны запаса бурового раствора | 162* |
| Отделение электрооборудования технологического комплекса | 63* |
| Проем в корпусе в районе устья скважины | 245* |
| Балластные цистерны | 216* |
| Цистерны сточных, льяльных и фекальных вод | 104 |
| Цистерны пресной воды | 60* |
| Цистерны забортной воды системы охлаждения | 35* |
| Кладовые | 100 |
| На платформе | |
| Цепной ящик | 30 |
| Шпилевая | 78 |
| Кладовые провизии, прачечная, сушилка | 78 |
| Механическая и электротехническая мастерская | 118 |
| Цистерна запаса масла | 8 |
| Такелажная кладовая | 30 |
| Жилые и служебно-бытовые помещения | |
| Жилые каюты в рубке I и II-го ярусов | 298 |
| Красный уголок, кают-компания, столовая | 112 |
| Умывальные, душевые, раздевалки, сушилки | 55 |
| Лаборатории: растворов, фоторабот | 17 |
| Камбуз | 35 |
| Оборудование кондиционеров, щитовые | 23 |
| Радиооперационная, аппаратная, аккумуляторная | 41 |
| Пульт управления подъемником | 25 |
| Главная палуба, подвышечный портал | |
| Трубная площадка | 500 |
| Желобная система, цистерны бурового раствора | 124 |
| Подвышечный портал | 290 |

* Помещения простираются до главной палубы.

Нагрузка (в тс) некоторых ПБУ дана в табл. 2.

Таблица 2

| Статьи нагрузки | ПБУ 1800/5-15 «Апшерон» | ПБУ 3000/5-20 «Азербай- джан» | ПБУ 6000/60 «Баки» |
|--|-------------------------------|--|--------------------------|
| Корпус | 355 | 1074 | 3550 |
| Оборудование помещений | 39 | 49 | 54 |
| Буровое и технологическое оборудование | 52 | 170 | 893 |
| Судовые устройства | 47 | 87 | 282 |
| Подъемное устройство | 226 | 354 | 698 |
| Системы | 13 | 38 | 116 |
| Энергетическая установка | 40 | 117 | 197 |
| Электрооборудование и связь | 7 | 20 | 218 |
| Опорные колонны | 314 | 612 | 3150 |
| ЗИП и инвентарь | 5 | 10 | 239 |
| Экипаж с багажом и др. | 2 | 4 | 122* |
| Запас водоизмещения | — | 70 | 183 |
| Водоизмещение порожнем | 1100 | 2504 | 9722 |

* Включены запасы питьевой и технической воды—110 т.

Таким образом, факторами, определяющими размеры и архитектурный тип, являются:

1) возможность размещения в определенной последовательности комплексов технологического оборудования, энергетической установки, подъемников с опорными колоннами, а также жилых и служебно-бытовых помещений;

2) обеспечение достаточных площадей и объемов складских помещений для хранения инструмента, ЗИПа, бурильных и обсадных труб, порошкообразных материалов, других сухих и жидких запасов;

3) обеспечение устойчивости на максимальной глубине моря в рабочем положении;

4) обеспечение устойчивости при переходе морем с максимально поднятыми опорными колоннами;

5) обеспечение запаса плавучести и соответствующей величины надводного борта для выдергивания опорных колонн из грунта;

6) размещение всех видов оборудования с учетом выполнения требований по взрывобезопасности помещений и открытых пространств ПБУ.

§ 4. АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЙ ТИП ПБУ

Самоподъемные плавучие буровые установки существенно отличаются по архитектурно-конструктивному типу. Как было отмечено выше, к основным отличительным элементам ПБУ следует отнести форму понтона, число опорных колонн и их конструкцию.

Из 84 построенных в 1971—1973 гг. ПБУ можно выделить следующие группы:

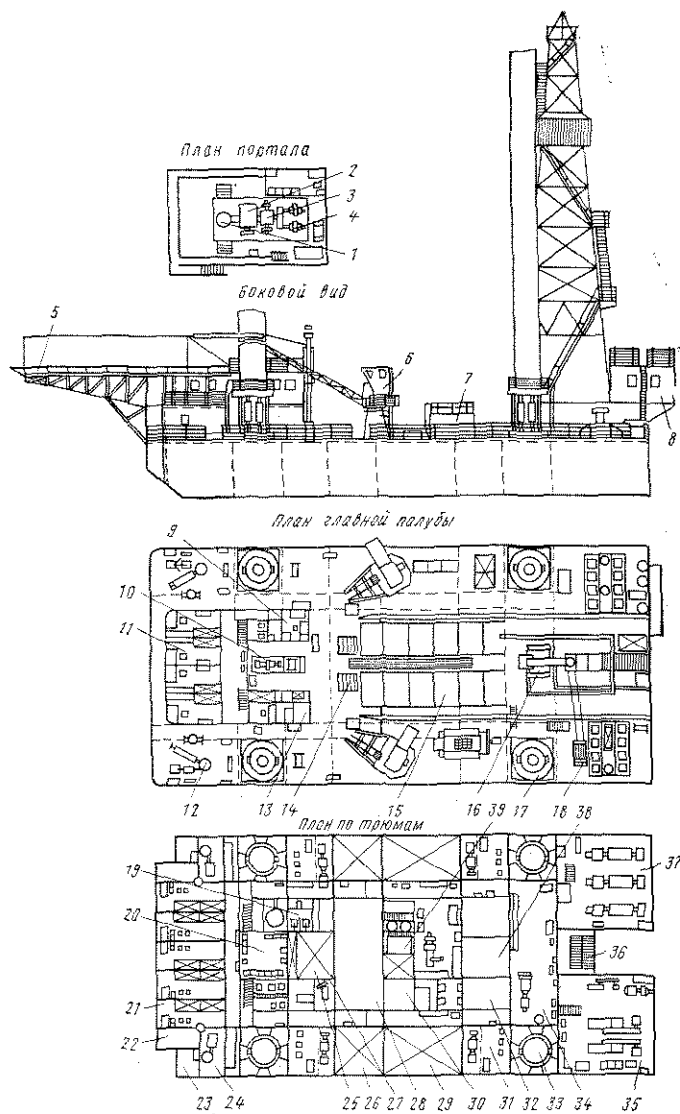


Рис. 5. Расположение оборудования на ПБУ 1800/15 «Аншерон»:

1 — ротор; 2 — лебедка; 3 — редуктор; 4 — электрический двигатель; 5 — вертолетная площадка; 6 — кран; 7 — глиномешалка; 8 — рубка для размещения бурового оборудования; 9 — радиорубка; 10 — каротажная лебедка; 11 — каюта на два человека; 12 — шпиль; 13 — бытовые помещения; 14 — люки помещений для сыпучих материалов; 15 — стеллаж для труб; 16 — вибросито; 17 — подъемник; 18 — управление превенторами; 19 — бытовые помещения; 20 — помещения для производственной одежды; 21 — каюта на четыре человека; 22 — цепной ящик; 23 — шкиперская; 24 — шпилевая; 25 — отсек для питьевой воды; 26 — отсек для топлива; 27 — котельное отделение; 28 — помещение для порошкообразных материалов; 29 — отсек для балласта; 30 — мастерская и кладовая; 31 — помещение гидросиловой установки подъемника; 32 и 33 — отсеки для глинистого раствора соответственно $V=25$ и 30 м³; 33 — опорная колонна; 34 — помещение главного распределительного щита и вспомогательного дизельгенератора; 35 — насосное отделение; 36 — превенторная площадка; 37 — машинное отделение; 39 — помещение электроздвижек

а) по форме понтона: прямоугольный — 54 (64,3%); треугольный — 29 (34,5%); в виде многоугольника — 1 (1,2%);

б) по количеству опорных колонн: на трех опорах — 36 (43%); на четырех опорах — 28 (34%); более четырех опор — 19 (23%);

в) по конфигурации опорных колонн: квадратные — 10 (12%); треугольные — 39 (47%); цилиндрические — 34 (41%)

На форму и конструкцию корпуса понтона влияют технология и условия постройки и транспортировки ПБУ к месту эксплуатации. При расположении завода-строителя и района эксплуатации в различных морских бассейнах появляется необходимость транспортировки ПБУ частями, при этом наиболее целесообразно создание модулей. Под модулем понимается часть конструкции корпуса, обладающая положительной плавучестью и остойчивостью, в которой монтируется и испытывается по возможности законченный комплекс оборудования. Готовые модули транспортируются к месту достройки и эксплуатации ПБУ водными путями.

Рассмотрим некоторые характеристики ПБУ.

1. ПБУ 1800/15 «Апшерон», построенная в 1966 г., предназначена для бурения структурных, поисковых и разведочных скважин. Расположение помещений и оборудования показано на рис. 5. Особенностью расположения помещений на ПБУ «Апшерон» является сосредоточение энергетической установки и технологического оборудования в кормовой части, вблизи оси бурящейся скважины. Такое решение обеспечило нормальный поток технологических материалов, снижение шума в жилых помещениях.

С ПБУ «Апшерон» успешно проведены буровые работы, открыт и оконтурен ряд морских месторождений нефти и газа. В процессе эксплуатации ПБУ «Апшерон» получены положительные результаты; основные задачи, поставленные при создании этой установки, выполнены успешно.

Опыт эксплуатации ПБУ показал необходимость внесения ряда конструктивных улучшений: выполнение требований взрыво- и пожаробезопасности при компоновке оборудования и помещений, закрытое хранение и транспортировка порошкообразных материалов и др.

В построенных в последние годы ПБУ 6000/60 учтен опыт эксплуатации отечественных и зарубежных ПБУ. На рис. 6 показано расположение оборудования на главной палубе, а на рис. 7 — расположение оборудования в трюмах ПБУ «Баки». Расположение помещений в корпусе и на главной палубе этой установки выполнено с учетом функционального назначения технологического оборудования.

Типичная конструкция корпуса трехопорных ПБУ представлена на рис. 8, а. Из рисунка видно, что сборка такого корпуса из модулей практически невозможна. Поэтому корпус изготов-

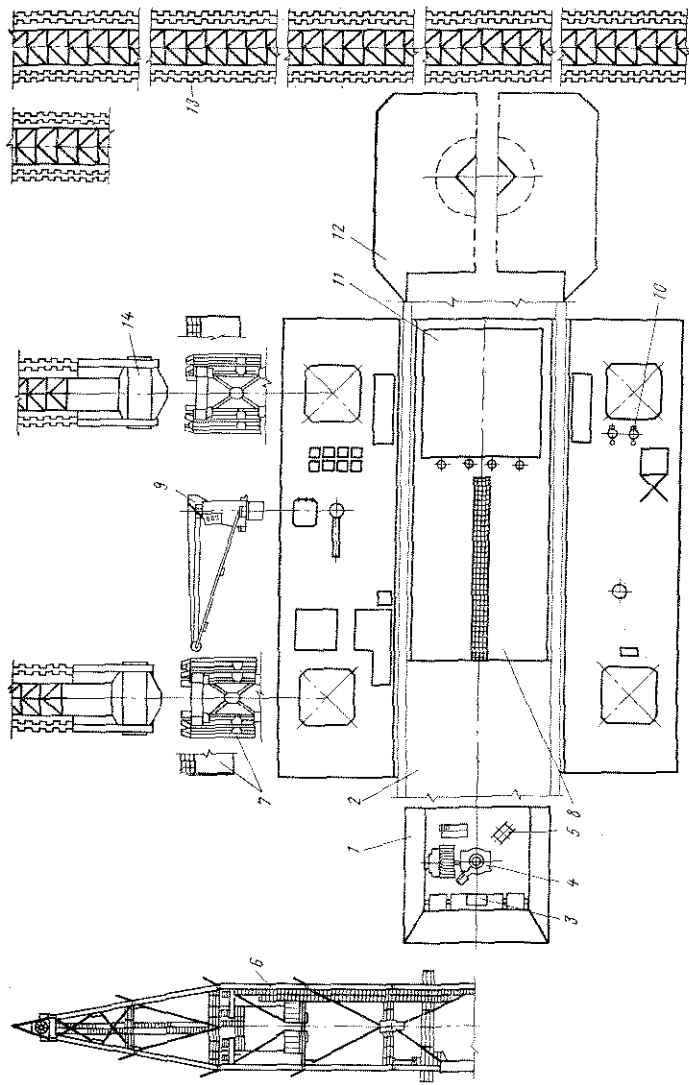


Рис. 6. Элементы конструкции ПБУ «Бакки»:

1 — подвешенный портал (условно смещен на корму); 2 — проем в корпусе в районе устья скважины; 3 — буровая лебедка; 4 — ротор; 5 — вспомогательная лебедка; 6 — буровая вышка; 7 — портал подъемника; 8 — стеллаж для труб; 9 — грузовой кран; 10 — шахта погружных насосов; 11 — рубка жилых и служебно-бытовых помещений; 12 — вертолетная площадка; 13 — вертикальная площадка; 14 — баллон опорной колонны

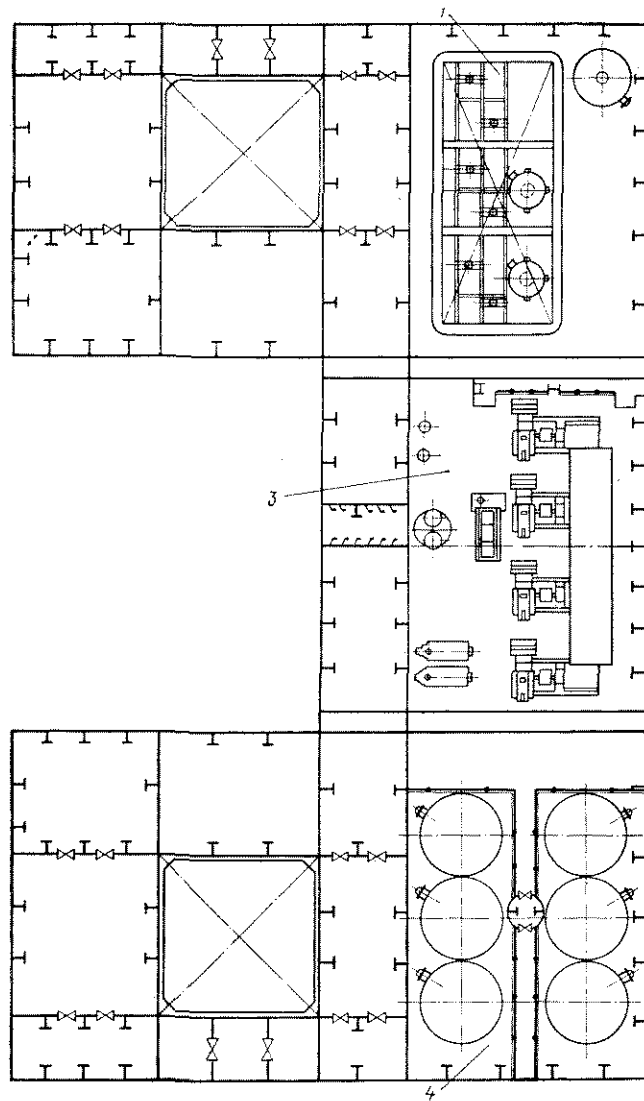
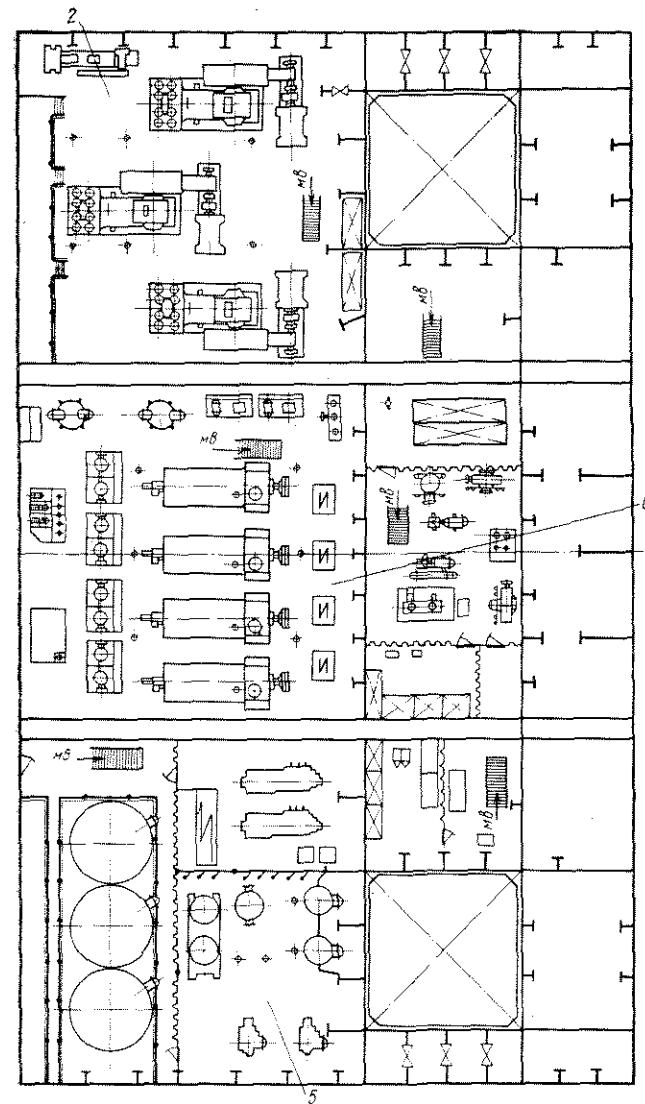


Рис. 7. Расположение оборудо-

1 — запасные емкости бурового раствора; 2 — помещение для плекса; 4 — помещение для хранения порошкообразных материалов установка

ляется либо полностью на заводе-строителе, либо из плоскостных секций в районе эксплуатации. Такое конструктивное решение создает трудности, если завод-строитель и район эксплуатации находятся в разных бассейнах.



ания в трюмах ПБУ «Бакы»:

буровых насосов; 3 — помещение для цементировочного ком-
лов; 5 — помещение компрессорной станции; 6 — энергетическая

Попытка преодолеть эти осложнения сделана фирмой «Скандрилл», которой запатентован корпус трехпорной ПБУ (рис. 8, б). Конструкция предусматривает корпус, состоящий из 12 укрупненных блоков, некоторые из которых могут транс-

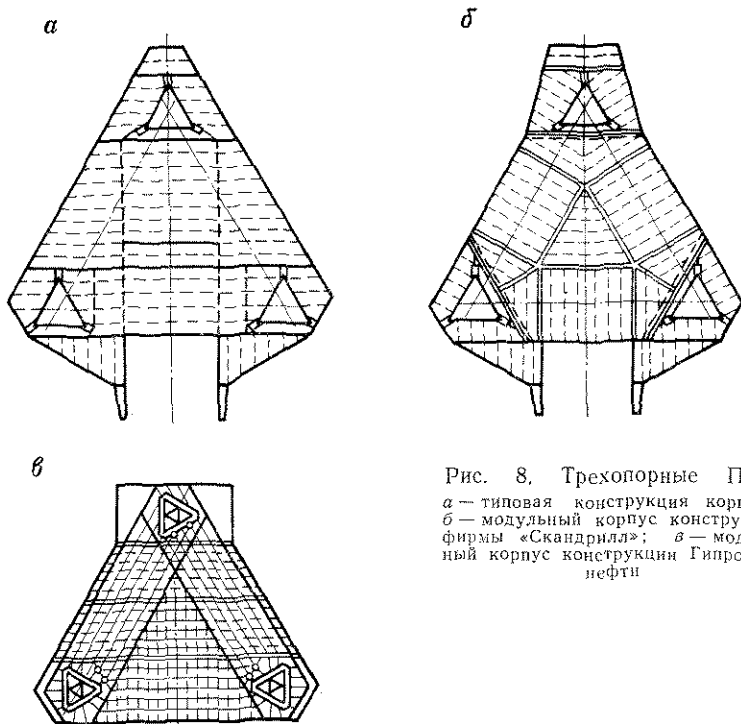


Рис. 8. Трехопорные ПБУ:
a — типовая конструкция корпуса;
б — модульный корпус конструкции
 фирмы «Скандрилл»; *в* — модуль-
 ный корпус конструкции Гипромор-
 нефти

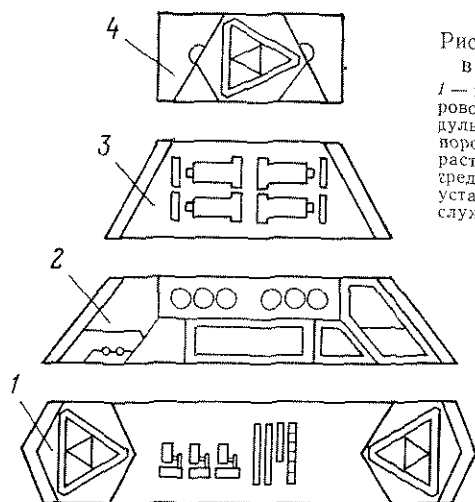


Рис. 9. Размещение оборудования
 в модулях трехопорной ПБУ:
 1 — кормовой модуль (буровое и цемент-
 ровочное оборудование); 2 — средний мо-
 дуль, первый (помещения для хранения
 воронкообразных материалов и бурового
 раствора, компрессорная станция); 3 —
 средний модуль, второй (энергетическая
 установка); 4 — носовой модуль (жилые и
 служебно-бытовые помещения, якорное
 устройство)

портироваться на плаву. Однако оборудование в этих блоках не может монтироваться комплектно, так как не все узлы технологических комплексов размещаются в одном блоке. Кроме того, порталы подъемников и опорные колонны монтируются после сборки корпуса. Такое решение только частично улучшает условия транспортировки и монтажа ПБУ.

В Гипроморнефти предложена конструкция трехопорной ПБУ, состоящая из модулей (рис. 8, в). В этой конструкции модули образуются монтажными стыками, параллельными транцу. Каждый модуль в районе монтажных стыков с носовой и кормовой сторон заканчивается водонепроницаемой переборкой, которая может быть монтажной или штатной. Главные связи корпуса расположены в плоскостях, соединяющих оси опорных колонн, и в плоскостях, им параллельных. Такая конструкция позволяет создать модули, как это показано на рис. 9.

Глава II

РАСЧЕТ ПБУ КАК ПЛАВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ

§ 1. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ПБУ

Основные размеры самоподъемных плавучих буровых установок выбираются из условий обеспечения:

а) рационального размещения технологического оборудования, запасов, жилых и производственных помещений;

б) остойчивости и непотопляемости установки на плаву с поднятыми колоннами;

в) устойчивости установки в рабочем положении (на опорных колоннах) при различных грунтах;

г) предельной осадки ПБУ и необходимого запаса плавучести при выдергивании опорных колонн из грунта;

д) возможности прохождения ПБУ по внутренним водным

Таблица 3

| Данные по ПБУ | Плавучая буровая установка | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------|---------|--------|-------------|-------------|-----------------|
| | «Ашгерон» | «Азербай-Джан» | «Хазар» | «Баки» | «Марлин-6»* | «Петрод-61» | «Запаг-Нор-дик» |
| Глубина моря, м | 15 | 20 | 60 | 75 | 91,4 | 104 | 90 |
| Глубина скважины, м | 1800 | 3000 | 6000 | 6000 | 9100 | 9000 | 7500 |
| Число колонн | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Форма корпуса | Прямоугольная | | | | | Треугольная | |
| Длина корпуса L , м | 37,2 | 54,0 | 50,5 | 57,6 | 61 | 70 | 72 |
| Ширина корпуса, B , м | 17,8 | 27,0 | 45,0 | 47,4 | 53 | 61,0 | 72 |
| Высота борта D , м | 4,3 | 5,5 | 7,2 | 7,2 | 7,0 | 7,9 | 7,9 |
| Осадка d , м | 2,5 | 3,1 | — | 4,5 | — | — | — |
| Отношение: | | | | | | | |
| L/B | 2,09 | 2,00 | 1,12 | 1,21 | 1,15 | 1,15 | 1,00 |
| B/D | 4,14 | 4,90 | 6,25 | 6,58 | 7,57 | 1,72 | 9,11 |
| B/d | 7,12 | 8,71 | — | — | — | — | — |
| Водоизмещение Δ , т | 1608 | 4250 | 8160 | 10400 | 11000 | — | 11000 |

* Корпус ПБУ «Марлин-6» в плане представляет собой прямоугольник с тремя полукруглыми криволинейными для прохождения опорных колонн

Рис. 10. Теоретический чертеж ПБУ с четырехгранными пространственными колоннами:

L, B, D — длина, ширина и высота борта корпуса ПБУ; l, l' — расстояние между осями опорных колонн в продольном и поперечном направлениях; l_p, b_p — длина и ширина прорези в корпусе под буровой портал; l_c — длина скоса в носовой части корпуса; a — размер выреза в корпусе под опорную колонну

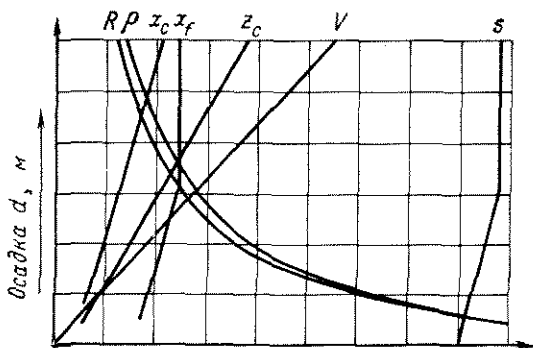
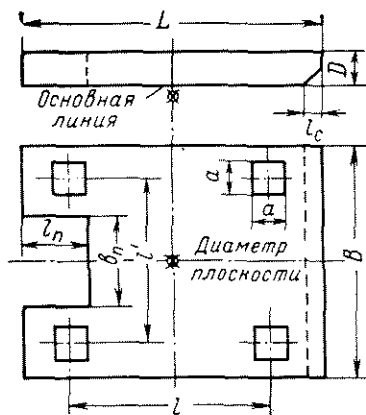


Рис. 11. Кривые элементов теоретического чертежа корпуса ПБУ в зависимости от осадки:

R, ρ — кривые продольного и поперечного метацентрических радиусов, м; x_c, x_f — кривые абсциссы центра величины и центра тяжести площади ватерлинии, м; z_c — кривая ординаты центра величины, м; V — кривая объемного водоизмещения, м³; s — кривая площади ватерлинии, м²

путям (целиком или посекционно) от места постройки к месту эксплуатации.

Из условий обеспечения устойчивости установки при воздействии внешних нагрузок (ветра и волнения) любого направления оптимальное отношение длины понтона к ширине близко к единице. Как видно из табл. 3, это соблюдается у понтонов и прямоугольной и треугольной форм. Исключение составляют ПБУ «Апшерон» и «Азербайджан», для которых $L/B \approx 2$, так как эти установки предназначены для работы на Каспийском море — района с ярко выраженной «розой ветров».

С увеличением глубины моря, для которых предназначаются самоподъемные ПБУ, увеличивается длина их опорных колонн. Поэтому для обеспечения достаточных устойчивости в транспортном положении и устойчивости в рабочем необходимо увеличивать размеры корпуса ПБУ в плане.

Высота борта плавучих буровых установок растет с увеличением основных размеров и глубины бурения (табл. 3). На рис. 10 и 11 представлены характерные для ПБУ теоретический чертеж и кривые его элементов.

§ 2. ОСТОЙЧИВОСТЬ ПБУ

В транспортном положении ПБУ, как и любые другие плавучие средства, должна обладать достаточными плавучестью и устойчивостью. Ниже приведены некоторые понятия и зависимости теории корабля применительно к устойчивости ПБУ.

Под устойчивостью понимается способность ПБУ, выведенного воздействием внешних сил из положения равновесия, возвращаться к нему после прекращения этого воздействия. Величина устойчивости плавучих сооружений зависит от размеров, формы обводов и положения центра тяжести. При исследовании устойчивости ПБУ достаточно рассмотреть ее величину лишь при поперечных наклонениях.

Устойчивость при малых наклонениях называется начальной. Величина момента, стремящегося вернуть ПБУ в первоначальное положение равновесия, характеризует статическую устойчивость ее. Величина работы восстанавливающего момента при отклонении ПБУ от первоначального положения равновесия характеризует ее динамическую устойчивость. Графическая зависимость восстанавливающего момента от углов крена называется диаграммой статической устойчивости (рис. 12).

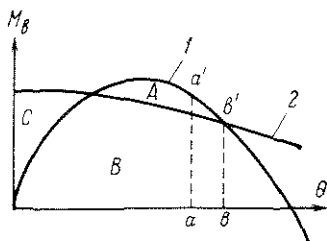


Рис. 12. Диаграмма статической устойчивости ПБУ:

1 — опрокидывающий момент; 2 — кренящий момент; α — угол заливания; b — второй отрезок; A , B и C — площади

«Закат» диаграммы статической устойчивости — пересечение кривой с осью абсцисс — наступит при крене, соответствующем полной потере устойчивости.

Одним из важнейших показателей устойчивости сооружения является его метацентрическая высота

$$h = r + z_c - z_g,$$

где $r = I\gamma/\Delta$ — поперечный метацентрический радиус, м; I — момент инерции площади ватерлинии относительно продольной оси, м⁴; Δ/γ — объемное водоизмещение ПБУ, м³; z_c — возвышение центра подводного объема над основной линией (линией, проходящей по наружной кромке днища), м; z_g — возвышение центра тяжести ПБУ над основной линией, м; γ — удельный вес морской воды, кН/м³; Δ — весовое водоизмещение, кН.

Во время пребывания ПБУ на плаву могут быть значительные свободные поверхности жидких и сыпучих грузов в отсеках, цистернах и бункерах (запасы воды, топлива, глинистого раствора с большой плотностью и т. д.), которые отрицательно влияют на остойчивость. Поэтому при определении метацентрической высоты обязательно должна быть определена поправка на свободные поверхности [9].

Самоподъемные ПБУ отличаются от обычных судов большой шириной при относительно малых осадке и надводном борте и очень высоким расположением центра тяжести. Высокие опорные колонны, портал с буровой вышкой, развитые надстройки и т. д. создают большую площадь парусности при любом направлении ветра, а центр площади парусности (ц. п.) у таких сооружений располагается очень высоко над плоскостью ватерлинии (табл. 4). Это обуславливает большие кренящие моменты при действии ветра на ПБУ. Поэтому вопрос обеспечения остойчивости является одним из важнейших вопросов проектирования и эксплуатации ПБУ.

Соотношение основных размеров ПБУ обуславливает с одной стороны большую начальную остойчивость, т. е. большие восстанавливающие моменты при малых углах крена, а с другой стороны — малые углы входа в воду палубы и выхода из воды днища. Таким образом, максимум и «закат» диаграммы статической остойчивости ПБУ наступают при предельных углах крена, значительно меньших, чем для обычных судов. Для всех ПБУ характерны сравнительно короткие и высокие диаграммы статической остойчивости.

Предельные углы крена и начальная остойчивость являются дополняющими друг друга показателями остойчивости. Поэтому к оценке достаточности остойчивости ПБУ следует подходить

Таблица 4

| Данные по ПБУ | Плавающая буровая установка | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------|--------|
| | «Апшерон» | «Азербайджан» | «Бакы» |
| Глубина моря, м | 15 | 20 | 60 |
| Площадь парусности, м ² | 465 | 725 | 2900 |
| Возвышение ц. п. над уровнем моря, м | 16,7 | 20,2 | 38 |

иначе, чем к остойчивости обычных судов, при этом должно быть учтено следующее.

1. ПБУ в плавучем состоянии пребывают во время переходов — перемещений в пределах района разведки за короткий промежуток времени. Переходы совершаются лишь несколько раз в году, причем только при благоприятном прогнозе погоды, т. е. когда ветер и волнение не могут:

вызывать сильную качку, существенно влияющую на остойчивость сооружения и инерционные усилия в его опорных колоннах;

препятствовать операциям, связанным с установкой сооружения на точку бурения, т. е. фиксированию на точке, опусканию опорных колонн, подъему корпуса над водой.

2. При необходимости буксировки ПБУ в другие районы бурения с длительным пребыванием в условиях открытого моря (это может быть лишь разовый, эпизодический случай), при перегонах — в каждом конкретном случае составляется специальный проект перегона установки, предусматривающий следующие дополнительные мероприятия, которые повышают остойчивость ПБУ и безопасность плавания:

грузы и их расположение приводятся в наиболее благоприятное для остойчивости состояние;

все отверстия, через которые вода может попасть внутрь корпуса, надежно закрываются;

иногда предусматривается частичное опускание опорных колонн или транспортировка ПБУ с частично демонтированными колоннами с последующим наращиванием снятых секций непосредственно на точке бурения.

На время перегона и перехода сокращается до минимума число людей, находящихся на борту ПБУ.

Ввиду отсутствия в СССР специальных правил в качестве критериев достаточности остойчивости принимаются критерии, установленные Регистром СССР для плавучих кранов при переходах, так как крановые суда наиболее близки к ПБУ по соотношениям главных размерений, парусности, высокому расположению центров тяжести.

Плавучие буровые установки должны быть остойчивы во всех условиях буксировки и маневров при установке их в рабочее положение. При анализе остойчивости строят интерполяционные кривые плеч остойчивости формы [9] и кривые ветровых кренящих моментов, охватывающие весь диапазон рабочих осадок установки; учитывают изменения остойчивости во время спуска и подъема опорных колонн. При определении кренящего момента площадь парусности и ветровые нагрузки определяются по методике, описанной в гл. III.

По зарубежным данным [44, 46], остойчивость установок должна быть обеспечена при действии ветра со скоростью 100 узлов (50 м/с) для установок с неограниченным районом

плавания и 50 узлов (25 м/с) для установок с ограниченным районом плавания. В качестве критериев достаточности остойчивости ПБУ рекомендуются следующие.

1. В диаграмме статической остойчивости (рис. 12) должно быть соблюдено условие

$$\text{площадь } A + B \geq 1,4 \text{ (площади } B + C). \quad (\text{II.1})$$

Выбирается меньшая из площадей, ограниченных кривой опрокидывающего момента $M_{\text{опр}}$ и углом заливания θ_3 ; или кривой I и вторым отрезком. Другими словами, коэффициент запаса остойчивости

$$K = M_{\text{опр}}/M_{\text{кр}} \geq 1,4. \quad (\text{II.2})$$

Здесь $M_{\text{опр}}$ — опрокидывающий момент; $M_{\text{кр}}$ — условный расчетный динамически приложенный кренящий момент; θ_3 — угол заливания, т. е. угол крена, при котором происходит заливание водой внутренних помещений ПБУ через отверстия в корпусе, считающиеся открытыми (θ_3 должен быть определен без учета дифферента).

2. Не допускается наклонение ПБУ более чем на 10° .

3. Наименьшее значение надводного борта ПБУ при наклонениях от внешних нагрузок должно быть не менее 30 см.

Все отечественные установки спроектированы так, что их остойчивость обеспечивается при силе ветра до 7 баллов и волнении моря до 5 баллов. При этом метacentрические высоты и минимальные плечи статической остойчивости намного превосходят требуемые Регистром СССР минимальные значения. Коэффициенты запаса остойчивости приведены в табл. 5.

Максимумы и «закаты» диаграмм статической остойчивости наступают при углах, значительно меньших, чем того требует Регистр СССР для обычных судов. Если во время перегона установка попадает в больший шторм, чем расчетный, то для обеспечения ее остойчивости в период штормового отстоя рекомендуется частичное опускание опорных колонн.

Таблица 5

| Показатели остойчивости | Плавающие буровые установки | | |
|--|-----------------------------|---------------|--------|
| | «Апшерон» | «Азербайджан» | «Баки» |
| Водоизмещение, т | 1608 | 4250 | 10442 |
| Осадка, м | 2,55 | 3,10 | 4,19 |
| Метacentрическая высота, м | 5,04 | 14,88 | 25,58 |
| Коэффициент запаса остойчивости без учета качки $K_1 = M_{\text{допр}}/M_{\text{кр}}$ (из [28] $K_1 \geq 2$) | 2 | 10,2 | 3,4 |
| Коэффициент запаса остойчивости с учетом качки $K_2 = M_{\text{допр}}/M_{\text{кр}}$ (из [28] $K_2 \geq 1$) | 1,61 | 5,9 | 1,3 |

§ 3. НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

Под непотопляемостью понимается свойство ПБУ оставаться на плаву и сохранять в достаточной мере мореходные качества при затоплении одного или нескольких отсеков.

Специфика эксплуатации ПБУ предусматривает наличие на них отсеков с очень большими (более 200 м²) площадями (например, отсек буровых насосов, отсек приготовления бурового раствора, отсек машинного отделения и т. д.). Затопление одного или нескольких таких больших отсеков вызывает большие изменения осадки, крена и дифферента и, следовательно, уменьшение остойчивости ПБУ в поврежденном состоянии.

Ниже приведены рекомендации зарубежных классификационных обществ к непотопляемости ПБУ. При конструировании ПБУ определяют наибольшие расстояния между продольными и поперечными водонепроницаемыми переборками с таким расчетом, чтобы при затоплении одного любого отсека при любой нагрузке и в любых условиях движения или маневра установка оставалась на плаву, сохраняя достаточную остойчивость.

Затем выполняется проверочный расчет непотопляемости.

ПБУ должна обладать достаточным запасом плавучести и аварийной остойчивости, чтобы выдерживать при повреждении любого отсека воздействие ветра и волн. Зарубежные Правила [43—47] рекомендуют в данном случае вести расчет на ветер со скоростью 50 узлов (25 м/с). Конечная ватерлиния при этом должна проходить ниже нижнего края любого отверстия, через которое может произойти заливание внутренних помещений.

Обычно у ПБУ предусматривается второе дно на значительной части длины корпуса. На ПБУ должны быть предусмотрены средства для ликвидации последствий аварии — откачка воды, балластировка других отсеков и т. д.

§ 4. ПЕРИОД КАЧКИ ПБУ НА ТИХОЙ ВОДЕ

При определении параметров качки ПБУ рассматривается как абсолютно твердое тело, совершающее колебания вокруг продольной или поперечной оси. Принимаем, что центр колебаний совпадает с центром величины, т. е. с центром тяжести подводного объема.

Качка может повлечь за собой ряд вредных, а иногда и катастрофических последствий, особенно опасных для таких сооружений, как самоподъемные ПБУ, имеющие опорные колонны и буровую вышку, которые обязательно должны быть рассчитаны с учетом динамических нагрузок от качки.

Наибольшее отклонение ПБУ от положения равновесия называется амплитудой качки. Время, за которое совершается полное колебание, называется периодом качки. Для ПБУ (вследствие их большой ширины и близости отношения L/B к

единице) характерны малые амплитуды бортовой и килевой качек.

Вопрос определения периода качки имеет очень важное значение, так как период качки сильно влияет на величину динамических нагрузок.

Так как для корпуса ПБУ применима метацентрическая формула остойчивости (т. е. метацентрическая высота всегда положительна, а амплитуды колебаний достаточно малы), величина периода бортовой качки T в с определяется по формуле [9]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A + \Delta A}{\Delta (r - a)}}, \quad (\text{II.3})$$

где A — момент инерции массы ПБУ относительно главной центральной продольной оси, $\text{т} \cdot \text{м}^2$; ΔA — момент инерции присоединенной массы воды относительно той же оси, $\text{т} \cdot \text{м}^2$; Δ — водоизмещение, т ; r — поперечный метацентрический радиус, м ; a — возвышение центра тяжести ПБУ, м .

$$A = A_{\text{п}} + nA_{\text{к}}$$

Момент инерции массы понтона относительно центральной продольной оси $A_{\text{п}}$ для ориентировочных расчетов может быть определен по приближенным формулам. Для прямоугольного понтона [9] по формуле Дуайэра

$$A_{\text{п}} = \frac{\Delta}{12g} (B^2 + D^2). \quad (\text{II.4})$$

Здесь D и B — высота борта и ширина корпуса, м ; n — число опорных колонн; g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; $A_{\text{к}}$ — момент инерции массы колонны относительно центральной продольной оси, $\text{т} \cdot \text{м}^2$

$$A_{\text{к}} = m_{\text{к}} \frac{h_{\text{к}}^2}{12} + m_{\text{к}} z_{\text{гк}}^2, \quad (\text{II.5})$$

где $m_{\text{к}}$ — масса опорной колонны, т ; $h_{\text{к}}$ — длина колонны, м ; $z_{\text{гк}}$ — возвышение центра тяжести колонны над центром колебаний, м .

Момент инерции присоединенной массы воды для прямоугольного понтона по [9]

$$\Delta A = \mu \rho L B^4 / 81,5, \quad (\text{II.6})$$

где ρ — плотность воды, $\text{т}/\text{м}^3$; μ — коэффициент, при $B/d > 4$ $\mu = 1$; d — осадка, м .

Элементы качки для различных ПБУ приведены в табл. 6. Значения амплитуд качки получены при модельных испытаниях ПБУ. Периоды качки получены расчетным путем.

В реальных условиях из-за большой ширины ПБУ при сравнительно небольшой осадке свободные колебания ПБУ быстро

Таблица 6

| Элементы качки | Плавающие буровые установки | | |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|
| | «Апшерон» | «Азербай- джан» | «Баки» |
| Период качки на тихой воде, с | 8,2 | 7,5 | 11 |
| Средние амплитуды при волнении | 5,3° | 5,2° | ≈6° |

угасают. При волнении период качки фактически будет равен периоду возмущающей силы, т. е. периоду волны. Для получения уточненных параметров качки на тихой воде и при волнении обязательно проведение модельных и натурных испытаний.

§ 5. ПЕРИОДЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОПОРНЫХ КОЛОНН В ТРАНСПОРТНОМ ПОЛОЖЕНИИ

При определении частоты ω и периода T_k собственных колебаний колонна рассчитывается как консольный жестко защемленный в корпусе стержень [2]

$$\omega = \frac{3,515}{(h_p')^2} \sqrt{\frac{EI'_{пр}}{q}}; \quad (II.7)$$

$$T_k = 2\pi/\omega.$$

где h_p' — расчетная длина опорной колонны, м; E — модуль упругости материала колонны, Па; $I'_{пр}$ — приведенный момент инерции поперечного сечения опорной колонны, м⁴; q — масса единицы длины опорной колонны, кг/м.

Ниже приведены периоды собственных колебаний опорных колонн для различных ПБУ в транспортном положении:

| | | | |
|----------------------------------|-----------|--------------------|--------|
| ПБУ | «Апшерон» | «Азербай- джан» | «Баки» |
| Период собственных колебаний, с. | 1,57 | 1,25 | 2,34 |

Таким образом, при буксировке опорные колонны совершают вынужденные колебания с частотой колебания корпуса при качке в процессе волнения.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ УСИЛИЙ В ОПОРНОЙ КОЛОННЕ ОТ КАЧКИ ПБУ

Для расчетов прочности опорных колонн при транспортировке ПБУ в условиях волнения обязательно следует учитывать увеличение вертикального усилия и изгибающего момента в колонне от инерционных усилий при качке ПБУ.

На ПБУ, как и на всякое плавучее сооружение, действуют одновременно три вида качки: вертикальная, бортовая и килевая. Рассмотрим влияние вертикальной качки, т. е. поступательных колебаний в вертикальном направлении.

Предполагаем при этом, что:

- 1) вертикальная качка ПБУ совершается независимо от других видов качки;
- 2) колебания носят гармонический характер;
- 3) волнение регулярное, с амплитудой $0,5 h_{\text{в}}$ ($h_{\text{в}}$ — высота расчетной волны) и периодом τ .

Сила инерции, вызванная вертикальной качкой, может уменьшать или увеличивать давление на опору колонны в зависимости от фазы качки. В расчет принимается фаза, при которой вертикальная составляющая сил инерции увеличивает вес колонны, т. е. направлена вниз. Максимальную силу инерции, вызванную вертикальной качкой, можно учесть коэффициентом перегрузки η .

$$P_z = G_R \eta; \quad \eta = 1 + \frac{2\pi^2}{g\tau^2} h_{\text{в}}, \quad (\text{П.8})$$

где P_z — усилие, передаваемое на опору, Н; G_R — вес колонны, Н.

Рассмотрим влияние бортовой качки (т. е. вращательных колебаний ПБУ около продольной горизонтальной оси), оставляя в силе допущения, принятые для учета вертикальной качки. Расчетная схема для определения инерционных усилий при бортовой качке приведена на рис. 13. Центр обобщенных координат совмещен с центром тяжести ПБУ, направление оси oy

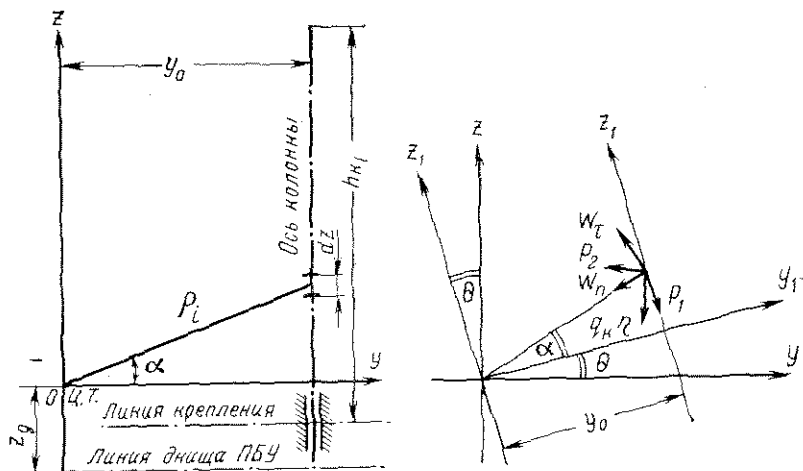


Рис. 13. Расчетная схема для определения инерционных усилий в колонне при качке на волнах

перпендикулярно к диаметральной плоскости. Колонна разбивается на ряд элементарных участков с постоянными (в пределах участка) жесткостью и массой m .

Считаем, что силы инерции распределяются равномерно по длине каждого участка колонны, а их равнодействующая приложена в центре каждого участка.

Уравнение движения при бортовой качке

$$\theta = \theta_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \quad (\text{II.9})$$

θ_0 — угол максимального крена в рад)

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \frac{2\pi\theta_0}{\tau} \cos \frac{2\pi t}{\tau}; \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} &= -\frac{4\pi^2\theta_0}{\tau^2} \sin \frac{2\pi t}{\tau}. \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

Тангенциальное и нормальное ускорения при бортовой качке

$$\begin{aligned} \omega_\tau &= -\frac{4\pi^2\theta_0}{\tau^2} \rho \sin \frac{2\pi t}{\tau}; \\ \omega_n &= \frac{4\pi^2\theta_0^2}{\tau^2} \rho \cos^2 \frac{2\pi t}{\tau} \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

(ρ — радиус колебаний).

Инерционные усилия на единицу длины колонны от бортовой качки

$$\begin{aligned} P_1 &= m\omega_n \sin \alpha - m\omega_\tau \cos \alpha + q_k \eta \cos \theta; \\ P_2 &= m\omega_n \cos \alpha + m\omega_\tau \sin \alpha + q_k \eta \sin \theta. \end{aligned}$$

Для колонны, имеющей постоянную массу, находим: усилие, направленное по оси колонны,

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{2\pi^2\theta_0^2 G'_k h_{k1}}{\tau^2 g} \cos^2 \frac{2\pi t}{\tau} + \frac{4\pi^2\theta_0 G'_k y_0}{\tau^2 g} \sin \frac{2\pi t}{\tau} + \\ &+ G'_k \eta \cos \left(\theta_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right); \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

усилие, нормальное к оси колонны,

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{4\pi^2\theta_0^2 G'_k y_0}{\tau^2 g} \cos^2 \frac{2\pi t}{\tau} - \frac{2\pi^2\theta_0 G'_k h_{k1}}{\tau^2 g} \sin \frac{2\pi t}{\tau} + \\ &+ G'_k \eta \sin \left(\theta_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

(y_0 — расстояние между диаметральной плоскостью ПБУ и вертикальной осью колонны).

Изгибающий момент в колонне

$$M_{\text{изг}} = \frac{2\pi^2\theta_0^2 G'_k y_0 h_{k1}}{\tau^2 g} \cos^2 \frac{2\pi t}{\tau} - \frac{4\pi^2\theta_0 G'_k h_{k1}^2}{3\tau^2 g} \sin \frac{2\pi t}{\tau} + \\ + 0,5G'_k \eta h_{k1} \sin \left(\theta_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right) \quad (\text{II.14})$$

(G'_k и h_{k1} — вес и длина части колонны, расположенной выше линии ее крепления в корпусе).

Аналогичные формулы справедливы и для килевой качки.

Величины изгибающих моментов в колонне от качки довольно значительны и составляют: для ПБУ «Апшерон» — 100 тс·м; для ПБУ «Баку» — 8000 тс·м.

Изгибающие моменты от инерционных усилий при качке суммируются с изгибающими моментами от давления ветра на колонну и воспринимаются опорным сечением колонны, которое, в свою очередь, передает их на конструкции подкреплений в районе колонн.

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА В ПРИСПУЩЕННОЙ КОЛОННЕ

В процессе проектирования ПБУ может оказаться необходимой проверка прочности опорных колонн в случае, когда установка находится на плаву и часть опорных колонн находится ниже уровня дна. Такой случай может быть во время штормового отстоя, т. е. если установка попадет в шторм, не предусмотренный прогнозом. Для обеспечения ее устойчивости и безопасности появится необходимость спустить опорные колонны на 10 м и более. При этом на колонну будут воздействовать инерционные усилия от качки на волнах и дополнительная нагрузка от скоростной и инерционной составляющих сопротивления волны. Так как мы не располагаем методикой определения амплитуды качки на волнах для сооружений типа ПБУ (а тем более с опущенными колоннами), расчет производится со следующими допущениями:

а) предполагаем, что колебания сооружения с опущенными колоннами происходят вокруг общего центра тяжести подводного объема;

б) максимальная амплитуда качки θ_{max} в таком расчете принимается условной; по правилам [44] максимальная амплитуда качки, при которой должна быть обеспечена прочность опорных колонн на плаву, $\theta_{\text{max}} = 6^\circ$;

в) период колебаний τ принимается равным периоду расчетной волны.

Определяют массу и объем опущенной части колонны и новое положение центра величины (центра подводного объема) относительно основной линии. Опущенная часть колонн разби-

валяется на ряд участков одинаковой длины. Радиусом колебаний для каждого участка ρ_i служит расстояние между центром величины сооружения и центром массы участка.

Пользуясь уравнениями качки (9) и (10), получаем линейную скорость v_i и линейное ускорение ω_i колебательного движения участка колонны

$$\begin{aligned} v_i &= \rho_i \frac{2\pi}{\tau} \theta_{\max} \cos \frac{2\pi t}{\tau} \cos \varphi; \\ \omega_i &= -\rho_i \frac{4\pi^2}{\tau^2} \theta_{\max} \sin \frac{2\pi t}{\tau} \cos \varphi, \end{aligned} \quad (\text{II.15})$$

где φ — угол между вертикальной осью колонны и линией, соединяющей центр массы участка с центром величины.

Соппротивление воды колебательному движению опущенной колонны

$$P_i = P_{\text{ск}i} + P_{\text{ин}i}, \quad (\text{II.16})$$

где $P_{\text{ск}i}$, $P_{\text{ин}i}$ — скоростная и инерционная составляющие, Н/м;

$$P_{\text{ск}i} = C_x \frac{\rho}{2} dv_i^2; \quad P_{\text{ин}i} = C_m \rho F \omega_i. \quad (\text{II.17})$$

Здесь ρ — плотность морской воды, кг/м³; d — поперечный размер элемента колонны, м; F — площадь поперечного сечения элемента колонны, м²; C_x — коэффициенты обтекания (см. гл. III); $C_m = 2$ — коэффициент присоединенной массы.

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{4\pi^2}{\tau^2} \theta_{\max} \rho_i \cos \varphi \left(C_x \frac{\rho}{2} d \rho_i \theta_{\max} \cos^2 \frac{2\pi t}{\tau} \cos \varphi - \right. \\ &\quad \left. - C_m \rho F \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right). \end{aligned} \quad (\text{II.18})$$

Силы сопротивления воды колебательному движению опущенной колонны суммируются по длине по всем элементам колонны, определяется изгибающий момент от них, который суммируется с изгибающим моментом от волновой и инерционной нагрузок.

§ 8. БУКСИРОВОЧНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Особенности эксплуатации самоподъемных ПБУ, заключающиеся в необходимости длительного пребывания на одной точке во время бурения, в сравнительно редких переходах и еще более редких перегонах, предопределили их конструирование чаще всего в несамостоятельном исполнении.

Высокое расположение центра тяжести ПБУ и их большая парусность требуют тщательного анализа погодных условий, при

которых возможна буксировка, а также подбора необходимой мощности буксировщиков. Различают два вида буксировки ПБУ: перегоны и переходы.

Для перегона в каждом конкретном случае составляют специальный проект, в котором разрабатывают маршрут буксировки и выбирают мощность и число буксировщиков. Не исключено, что во время перегона установка попадет в шторм в открытом море. В этом случае опорные колонны могут частично опускаться для обеспечения необходимой остойчивости ПБУ, а буксировщики должны обеспечить удержание установки на месте.

Для переходов ПБУ, как правило, выбирают хорошую погоду (ветер до 5 баллов, волнение до 3 баллов). При этих условиях буксировщики должны обеспечить скорость транспортировки ПБУ при встречном ветре до 6 узлов.

Буксировочная мощность N прямо пропорциональна буксировочному сопротивлению $R_{\text{букс}}$, которое складывается из сопротивления движению на тихой воде $R_{\text{т.в}}$, сопротивления движению при волнении $R_{\text{волн}}$ и воздушного сопротивления $R_{\text{возд}}$,

$$N \approx 0,01 R_{\text{букс}}, \text{ л. с.}$$

$$R_{\text{букс}} = R_{\text{т.в}} + R_{\text{волн}} + R_{\text{возд}}, \text{ Н.} \quad (\text{II.19})$$

Демонтаж части секций опорных колонн перед буксировкой ПБУ, произведенный в целях повышения ее остойчивости, одновременно снижает и буксировочное сопротивление, так как уменьшаются парусность и осадка ПБУ. Необычность соотношений основных размеров и наличие больших площадей транцев у ПБУ вызывает повышенное сопротивление воды движению, которое растет с увеличением скорости буксировки.

Экспериментальные исследования буксировочного сопротивления ряда ПБУ показали, что около 80% от общего сопротивления воды приходится на сопротивление формы, около 20% — на волновое сопротивление и незначительную величину составляет сопротивление трения. Сопротивление на тихой воде можно определить по приближенной формуле [..1...]

$$R_{\text{т.в}} \approx 705 B d v_m^{1,83} + 107 B d v_m^{1,7+0,15 v_m}, \quad (\text{II.20})$$

где B и d — соответственно ширина и осадка корпуса ПБУ, м; v_m — скорость буксировки, м/с.

Волновое сопротивление

$$R_{\text{волн}} \approx 6,4 \frac{B^2}{L} h_B^2,$$

где L и B — соответственно длина и ширина ПБУ, м; h_B — высота волны, м.

Наличие на ПБУ высоких колонн и буровой вышки создает значительное воздушное сопротивление, которое возрастает пропорционально балльности ветра и скорости буксировки,

$$R_{\text{возд}} = \rho F_p \frac{v^2}{2}, \quad (\text{II.21})$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; F_p — площадь парусности ПБУ, м²; v — суммарная скорость ветра и буксировки; в общем случае, когда направление движения ПБУ составляет угол α с направлением ветра,

$$v = \sqrt{v_m^2 + v_b^2 + 2v_m v_b \cos \alpha}.$$

Наибольшее воздушное сопротивление при встречном ветре $v = v_m + v_b$. Скорость ветра на высоте свыше 6 м над уровнем моря находится по специальным графикам или рассчитывается по известной формуле Д. Л. Лайхтмана.

$$v_b = v_6 \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{z_6}{z_0}}, \quad (\text{II.22})$$

где v_6 — скорость ветра на высоте $z_6 = 6$ м над поверхностью моря; z — высота над поверхностью моря центра площади парусности, м; z_0 — характеристика шероховатости подстилающей поверхности; для моря $z_0 \approx 0,002$ м.

Для оценки площади парусности ПБУ во время буксировки можно пользоваться следующей приближенной эмпирической формулой, полученной на основании результатов продувок нескольких моделей ПБУ в аэродинамической трубе

$$F_D \approx 2,05F_{\text{кор}} + 0,8F_B + C_x F_K, \quad (\text{II.23})$$

где $F_{\text{кор}} = BD$ — площадь поперечного сечения корпуса ПБУ, м²; D — высота борта, м; F_B — площадь парусности буровой вышки башенного типа, м²; она может быть определена приближенно, как площадь боковой ее грани с коэффициентом заполнения $\varphi = 1$ и аэродинамическим коэффициентом обтекания $C_B = 0,8$; C_x — аэродинамический коэффициент обтекания колонны (см. гл. III); $F_K = n a h'_K$ — площадь парусности опорных колонн, м²; n — число опорных колонн; a — наибольший поперечный размер колонны в плоскости, параллельной плоскости мидельшпангоута, м; h'_K — длина колонны, считая от ватерлинии, м.

Расчеты показали, что отношения $R_{\text{т.в}}/R_{\text{букс}}$ практически одинаковы для различных ПБУ и зависят только от типа опорных колонн, балльности ветра и скорости буксировки. Это дало возможность упростить расчеты, определив значения коэффициентов $K = R_{\text{т.в}}/R_{\text{букс}}$ для различных ПБУ и осреднив их. Была по-

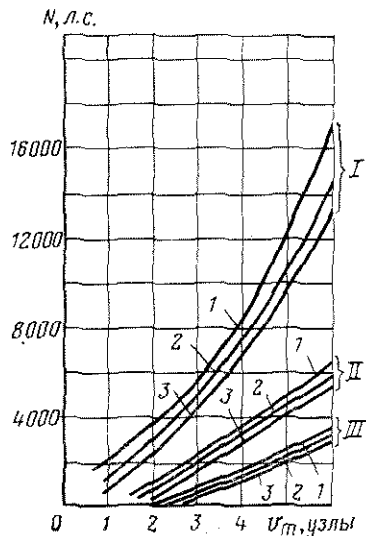
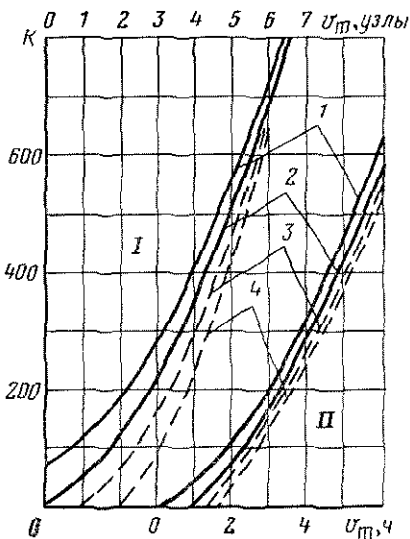


Рис. 14. График для определения коэффициента K в зависимости от скорости буксировки:

I — ПБУ с пространственными колоннами; *II* — ПБУ с цилиндрическими колоннами; 1, 2, — встречный ветер 5 и 3 балла; 3, 4 — попутный ветер 3 и 5 баллов

Рис. 15. Зависимость буксировочной мощности от скорости буксировки и балльности встречного ветра:

1, 2, 3 — соответственно 0, 3, 5 баллов; *I* — «Хазар»; *II* — «Азербайджан»; *III* — «Аншерон»

лучена эмпирическая формула для определения буксировочного сопротивления при транспортировке ПБУ.

$$R_{\text{букс}} \approx K V d, \quad (\text{II.24})$$

где K — коэффициент, определяемый по рис. 14.

Для каждого ПБУ строят кривые зависимости буксировочной мощности от скорости буксировки и балльности ветра (рис. 15), по которым определяется необходимая мощность буксиров.

В последние годы за рубежом наметилась тенденция сооружения самоходных ПБУ, что улучшает их маневренность и автономность, уменьшает простой, упрощает установку на точку бурения, уменьшает необходимую мощность буксиров при перегонах. В случае необходимости самоходная ПБУ может без посторонней помощи уйти с точки бурения

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПБУ

Специфика эксплуатации ПБУ, в частности их автономность, необходимость длительное время оставаться на точке бурения при любых гидрометеорологических условиях, предъявляет особые требования к обеспечению их надежности и безопасности. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований, опыта проектирования, постройки и эксплуатации ПБУ разработана методика гидротехнического расчета, целью которого является проверка прочности и устойчивости сооружения в рабочем положении (на колоннах).

Как показали исследования, при определении периода собственных колебаний следует рассматривать ПБУ как нелинейную систему, совершающую псевдогармонические колебания. Для таких систем период собственных колебаний зависит от величины внешней нагрузки. Для определения внешних нагрузок (динамических составляющих волновой и ветровой нагрузок) необходимо иметь период собственных колебаний сооружения. Поэтому гидротехнический расчет выполняется методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. По приближенной формуле вычисляют период собственных колебаний установки T_1 .

2. Определяют основные внешние нагрузки на ПБУ: волновые, ветровые и от течения. Для нахождения динамической составляющей волновой и ветровой нагрузок используется период T_1 .

3. По уточненной методике с использованием полученных данных о внешних нагрузках рассчитывают период собственных колебаний установки T_2 .

4. Сопоставляют значения T_1 и T_2 . Если эти периоды существенно отличаются, производят уточняющие расчеты. Период T_2 используют для определения новых значений внешних нагрузок, по которым находят новое значение периода T_3 и т. д. Расчеты продолжают до тех пор, пока не будет достигнуто удовлетворительное совпадение значений периода T_{i-1} , принятого для определения внешних нагрузок с периодом T_i , полученным при расчете сооружения на действие этих нагрузок.

5. Производится гидротехнический расчет, в котором опре-

деляют коэффициенты запаса на опрокидывание, сдвиг, коэффициент предварительной задавки колонн в грунт, а также реакции, действующие на опорные колонны и корпус ПБУ.

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПБУ (ПРИБЛИЖЕННАЯ ФОРМУЛА)

При вычислении периода собственных колебаний ПБУ рассматривают как пространственную конструкцию, состоящую из ригеля (корпус ПБУ) и стоек (опорные колонны). Принимают, что колонны жестко заземлены в корпусе ПБУ и шарнирно-неподвижно оперты на грунт. Работа грунта под опорными колоннами не учитывается.

Расчетная высота сооружения (рис. 16)

$$h_p = H + h_1 + h_2 + h_3, \quad (\text{III.1})$$

где H — максимальная глубина моря в районах эксплуатации; h_1 — расстояние от днища корпуса до середины участка между опорными поясами, передающими нагрузку от колонн на корпус ПБУ; h_2 — расстояние от днища корпуса до статического уровня моря; учитывая особую опасность для ПБУ в случае, если гребень волны заденет корпус, принимают, что днище должно располагаться выше суммарной высоты прилива и гребня волны, $i=0,1\%$ обеспеченности, определяемой по СНиП; h_3 — величина заглубления колонн в грунт; определяется по имеющимся данным о грунтах в районах предполагаемой эксплуатации ПБУ.

Определяют следующие параметры ПБУ: $m'_{\text{корп}}$ — масса корпуса с установленным на нем оборудованием; $m_{\text{к}}$ — масса опорной колонны с учетом массы вытесненной ею воды; m_3 — масса судовых и технологических запасов на ПБУ; $m_{3 \text{ max}}$ и $m_{3 \text{ min}}$ — максимальное и минимальное значения параметра m_3 ; обычно принимается $m_{3 \text{ min}} = 0,3 m_{3 \text{ max}}$; m_6 — масса балласта на ПБУ; $m_{\text{корп}}$ — масса корпуса с оборудованием, запасами и балластом; m — общая масса ПБУ.

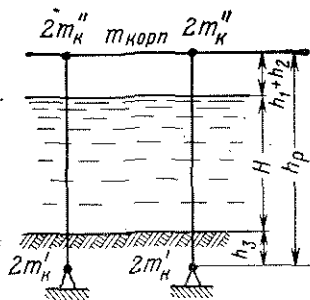


Рис. 16. Расчетная схема для определения периода собственных колебаний ПБУ с четырьмя опорными колоннами

$$\left. \begin{aligned} m_{\text{корп}} &= m'_{\text{корп}} + m_3 + m_6 \\ m &= m_{\text{корп}} + nm_{\text{к}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.2})$$

(n — число опорных колонн).

Максимальные и минимальные $m_{\text{корп max}}$; $m_{\text{корп min}}$; m_{max} ; m_{min} значения параметров $m_{\text{корп}}$ и m определяют аналогично с учетом соответствующих величин m_3 и m_6 .

Распределенная масса каждой колонны заменяется двумя сосредоточенными массами: m'_k — расположенной в точке опирания колонны на грунт и m''_k — расположенной в точке закрепления колонны в корпусе

$$m'_k = m_k \frac{h_p}{2h_k}; \quad m''_k = m_k - m'_k \quad (\text{III.3})$$

(h_k — полная длина колонны).

Периоды собственных колебаний ПБУ рассчитывают по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(m_{\text{корп}} + nm''_k) h_p^3}{3nEI_{\text{пр}}}} \quad (\text{III.4})$$

($EI_{\text{пр}}$ — приведенная жесткость одной опорной колонны).

Периоды определяют для минимальной и максимальной массы сооружения. Если полученные значения периодов близки, то внешние нагрузки и периоды собственных колебаний вычисляют по уточненной методике только для одной, максимальной массы сооружения. Если полученные значения периодов разнятся более чем на 10%, то все дальнейшие расчеты ведут отдельно для максимальной и минимальной массы сооружения.

§ 2. ВОЛНОВАЯ НАГРУЗКА

Волновая нагрузка относится к числу основных нагрузок, от правильного определения которых зависит безопасность ПБУ в рабочем положении. Особенно важно точно вычислить волновые нагрузки при проектировании ПБУ для больших глубин моря.

Расчет прочности и устойчивости ПБУ производится на действие волновой нагрузки, определяемой как произведение статической составляющей $Q_{\text{ст}}$, коэффициента динамичности K_d и коэффициента перегрузки K_B .

$$Q_B = Q_{\text{ст}} K_d K_B \quad (\text{III.5})$$

Статическая составляющая волновой нагрузки определяется по теории двумерных регулярных волн, дающей возможность находить максимум нагрузки при заданных параметрах расчетной волны: высоте h , длине λ , периоде τ . Эти параметры определяются по СНиП или по имеющимся данным Гидрометеослужбы для района с самым тяжелым волновым режимом из числа тех, в которых может эксплуатироваться установка.

Расчетная высота волны

$$h = h_{\text{ср}} K_i,$$

где $h_{\text{ср}}$ — средняя высота волны при максимальном шторме; K_i — коэффициент превышения, определяется в зависимости от принятого процента обеспеченности расчетной волны i , для плавучих буровых установок $i=1,0\%$, для глубоководных акваторий этой обеспеченности соответствует коэффициент $K_{1\%} \approx 2,4$.

Период расчетной волны τ принимается равным $\tau_{\text{ср}}$ — среднему периоду волн при максимальном шторме.

На действие волновой нагрузки ПБУ рассчитывается для нескольких положений вершины волны относительно сооружения. Затем выбирается расчетное положение, т. е. положение, при котором суммарная волновая нагрузка на ПБУ достигает максимума, и для него производится дальнейший расчет сооружения. Для ПБУ с четырьмя пространственными опорными колоннами за расчетное положение можно принять положение вершины волны, совпадающее с осями колонн первого ряда (по направлению движения волны). Полученное при этом значение волновой нагрузки будет достаточно близко к максимальному.

Рассчитывая волновую нагрузку, необходимо учитывать возможное обрастание частей опорных колонн, расположенных ниже статического уровня моря. Нагрузка может возрастать по двум причинам: увеличиваются поперечные размеры элементов, подверженных волновому воздействию, повышается коэффициент обтекания этих элементов из-за шероховатости поверхности.

При определении толщины слоя обрастания учитывают следующие особенности работы ПБУ. При перестановке ПБУ на новое место во время спуско-подъемных операций сплошностенчатые опорные колонны, проходя через направляющие элементы корпуса, очищаются от обрастания. Пространственные колонны от обрастания не очищаются, так как контакт между ними и направляющими элементами корпуса происходит только по торцевой поверхности реек. Такие колонны могут быть очищены только во время заводского ремонта. В соответствии с этим для сплошностенчатых колонн толщина слоя обрастания определяется в зависимости от возможной продолжительности работы на одной точке. Для пространственных колонн принимается максимальная толщина слоя обрастания. Как показали наблюдения над гидротехническими сооружениями, построенными в Каспийском море, максимальная толщина слоя обрастания достигает 25 мм.

Волновая нагрузка определяется как сумма скоростной и инерционной составляющих волнового давления на все эле-

менты конструкции. Расчет производится по общим формулам, которые приведены в СНиП. Несколько специфичным является определение коэффициента обтекания C_x , входящего в формулу для расчета скоростной составляющей волнового давления.

По имеющимся данным [13, 44, 47] и на основании лабораторных опытов были определены коэффициенты C_x для сплошнотенчатых опорных колонн и для одной из конструкций реек пространственной колонны (рис. 17). При вычислении этих значений C_x влияние шероховатости не учитывалось по следующим причинам:

шероховатость не влияет на коэффициент обтекания элемента конструкции, имеющего острые грани;

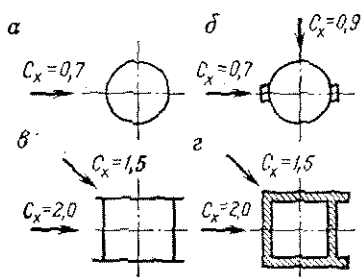


Рис. 17. Коэффициенты обтекания C_x для:

а — цилиндрической колонны; б — цилиндрической колонны с рейками; в — сплошнотенчатой колонны прямоугольного сечения; г — рейки решетчатой опорной колонны. Стрелками показаны направления волнового потока

для цилиндрических колонн возможная толщина обрастания невелика, особенно по сравнению с их диаметром.

Для круглых элементов решетки пространственной колонны, учитывая их обрастание, принимается $C_x \approx 1,0$.

Расчет волновых нагрузок на пространственную решетчатую колонну может быть существенно упрощен. Уменьшение нагрузки вследствие затенения одного элемента колонны другим и увеличение нагрузки из-за близкого расположения смежных элементов взаимно компенсируются и могут не учитываться в расчете. Так как для принятой схемы гидротехнического расчета необходимо иметь только равнодействующую волновой нагрузки на колонну и точку ее приложения, определение волновых нагрузок на наклонные элементы решетки можно заменить определением нагрузки на эквивалентную сваю.

В качестве эквивалентной сваи принимается вертикальная свая полной длины (т. е. от дна моря до уровня гребня волны), расположенная в центре проекции наклонных элементов на горизонтальную плоскость. Поперечные размеры сваи определяют в зависимости от того, в какой плоскости находятся наклонные элементы:

в плоскости, параллельной волновому потоку $b=d$; $a=d \sec \varphi$;

в плоскости, перпендикулярной к волновому потоку $b=d \sec \varphi$; $a=d$ (a и b — поперечные размеры вертикальной сваи в направлении волнового потока и в перпендикулярном ему направлении; d — диаметр наклонных элементов с учетом обрастания; φ — угол между осями наклонных элементов и вертикалью).

Коэффициент динамичности. Результаты исследований показали, что динамический характер волновой нагрузки следует учитывать, основываясь на групповых свойствах волн, присущих любому волнению [27]. Группа волн — это совокупность волн, изменяющихся по высоте и включающих максимальную волну. Волновая поверхность группы волн с достаточной степенью точности может быть описана совокупностью регулярных волн различной высоты. Все волны группы имеют примерно одинаковые периоды.

Расчет ПБУ производится на действие волн, имеющих максимальную высоту. Между наибольшими волнами двух последовательно идущих групп волн проходит некоторое число волн значительно меньшей высоты, которые поглощают влияние предшествовавших больших волн. Поэтому задачу определения коэффициента динамичности можно решить, рассмотрев колебания сооружения за время действия одной группы волн.

Принимаем, что ПБУ длительное время подвергалось воздействию регулярных волн высотой $h_{ср}$, затем к сооружению подходит группа из нескольких волн расчетной высоты h . Необходимо исследовать колебания ПБУ и определить максимальную нагрузку [23].

Равнодействующая скоростной составляющей $Q_{ск}$ в зависимости от фазы волны изменяется по кривой, близкой к косинусоиде, ось которой смещена вверх от нейтральной оси примерно на 30% ее максимального значения. Равнодействующая инерционной составляющей $Q_{ин}$ изменяется по кривой, близкой α к синусоиде. Изменения координат $z_{ск}$ и $z_{ин}$ точек приложения равнодействующих в зависимости от фазы волны, особенно для сооружений, работающих на глубоководных акваториях, сравнительно невелики и ими можно пренебречь (рис. 18).

Основным фактором, характеризующим волновую нагрузку, является момент от нее относительно пяты опорной ко-

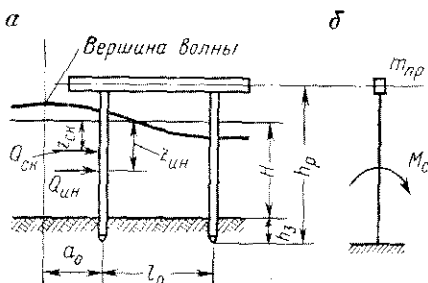


Рис. 18. Положение профиля волны относительно ПБУ (а) и расчетная схема для определения K_d (б)

лонны. Момент для одной опорной колонны M_{κ} и для ПБУ с четырьмя опорными колоннами M_c для времени t

$$M_{\kappa} = 0,3M_{\text{СК max}} + 0,7M_{\text{СК max}} \cos \frac{2\pi t}{\tau} + M_{\text{ин max}} \sin \frac{2\pi t}{\tau};$$

$$M_c = 2 \left[M_1 + M \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau} + \alpha_0 + \beta_1 \right) \right];$$

$$M_1 = 0,6M_{\text{СК max}}; \quad M = \sqrt{M_2^2 + M_3^2}; \quad \beta_1 = \arctg \frac{M_2}{M_3} + \pi K_1;$$

$$M_2 = 0,7M_{\text{СК max}} (1 + \cos \alpha) + M_{\text{ин max}} \sin \alpha; \quad (\text{III.6})$$

$$M_3 = -0,7M_{\text{СК max}} \sin \alpha + M_{\text{ин max}} (1 + \cos \alpha).$$

$$M_{\text{СК max}} = Q_{\text{СК max}} (H + h_3 - z_{\text{СК}}); \quad M_{\text{ин max}} = Q_{\text{ин max}} (H + h_3 - z_{\text{ин}}).$$

Здесь $M_{\text{СК max}}$ и $M_{\text{ин max}}$ — максимальные значения моментов от равнодействующих скоростной и инерционной составляющих волнового давления на колонну; $\alpha_0 = 2\pi a_0/\lambda$ — начальная фаза волны для колонн первого ряда; $\alpha = 2\pi l_0/\lambda$ — смещение фазы волны для колонн второго ряда; a_0 — расстояние от гребня волны до оси колонн первого ряда; l_0 — расстояние между осями опорных колонн.

Принимается следующая расчетная схема. Вертикальный невесомый стержень, жестко закрепленный нижним концом, с сосредоточенной массой на верхнем свободном конце нагружен переменным во времени изгибающим моментом M_c от волновой нагрузки. Для упрощения расчетов жесткость стержня принимается постоянной, не зависящей от величины внешней нагрузки. Уравнение динамического равновесия такого стержня имеет вид

$$m_{\text{пр}} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{2m_{\text{пр}}\gamma}{T} \frac{dx}{dt} + Sx = \frac{2}{h_p} \left[M_1 + M \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau} + \alpha_0 + \beta_1 \right) \right], \quad (\text{III.7})$$

где h_p — длина стержня, равная расчетной высоте сооружения; S — жесткость стержня, равная жесткости сооружения (величина, обратная перемещению корпуса ПБУ под действием единичной силы); T — период собственных колебаний стержня, равный периоду собственных колебаний ПБУ; $m_{\text{пр}} = m_{\text{корп}} + 4m''_{\kappa}$ — приведенная масса ПБУ; γ — логарифмический декремент затухания.

Общее решение уравнения динамического равновесия стержня

$$x = \frac{1}{Sh_p} e^{-\frac{\gamma t}{T}} \left(B_1 \sin \frac{2\pi t}{T} + B_2 \cos \frac{2\pi t}{T} \right) + \frac{2M_1}{Sh_p} + \frac{2M}{Sh_p} K'_d \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau} + \alpha_0 + \beta_1 - \beta_2 \right), \quad (\text{III.8})$$

где

$$K'_d = 1 / \sqrt{(1 - \delta^2)^2 + \frac{\gamma^2 \delta^2}{\pi^2}}; \quad \delta = T/\tau;$$

β_2 — сдвиг фазы вынужденных колебаний относительно возмущающей силы

$$\beta_2 = \arctg \frac{\delta \gamma}{1 - \delta^2} + \pi K_2; \quad \text{при } T < \tau \quad K_2 = 0; \quad \text{при } T > \tau \quad K_2 = 1;$$

B_1 и B_2 — постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий.

При определении коэффициента динамичности исследуется решение уравнения (III.7) для момента начала воздействия на сооружение расчетной волны. Было принято, что до расчетной волны на сооружение достаточно долго действовали волны средней высоты. Колебания ПБУ под действием этих волн описываются аналогичным уравнением. Учитывая длительность воздействия, принимаем, что собственные колебания сооружения затухли, а вынужденные колебания описываются уравнением

$$\bar{x} = \frac{2\bar{M}_1}{Sh_p} + \frac{2\bar{M}}{Sh_p} K'_d \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau} + \alpha_0 + \bar{\beta}_1 - \beta_2 \right). \quad (\text{III.9})$$

Волновая нагрузка на ПБУ от волн высотой h_{cp} задана параметрами \bar{M}_1 , \bar{M} , $\bar{\beta}_1$. Величины \bar{x} и $d\bar{x}/dt$ характеризуют движение сооружения до начала действия расчетной волны.

Рассмотрим ПБУ в момент времени $t=0$. Принимаем, что в этот момент сооружение находится между двумя соседними гребнями волн высотой h_{cp} и h ; причем волна высотой h_{cp} уже прошла мимо сооружения, а волна высотой h только подходит к нему. Волновая нагрузка определяется для положения стыка двух волн и может быть выражена как уравнением (III.6) в зависимости от волн высотой h , так и аналогичным уравнением в зависимости от волны высотой h_{cp} . Приравняв значения $M_c = \bar{M}_c$, находим начальную фазу волны α_0 , которая определяется расстоянием a_0 от гребня волны расчетной высоты до оси первого ряда колонн.

Для этого же момента времени ($t=0$) перемещение x и скорость dx/dt также могут быть заданы уравнениями (III.8) и (III.9) и их производными. Приравняв их значения, находим постоянные интегрирования B_1 и B_2 .

Подставив найденные величины B_1 и B_2 в формулу (III.8), получаем уравнение, описывающее колебания сооружения под действием волн расчетной высоты. Максимальная нагрузка от действия этих волн на сооружение с учетом его динамики определяется следующей формулой:

$$M_{д \max} = 2M_1 + \max \left[\left(B_1 \sin \frac{2\pi t}{T} + B_2 \cos \frac{2\pi t}{T} \right) e^{-\frac{\gamma t}{T}} + \right. \\ \left. + 2MK'_д \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau} + \alpha_0 + \beta_1 - \beta_2 \right) \right]. \quad (\text{III.10})$$

Коэффициент динамичности волновой нагрузки на ПБУ представляет собой отношение максимальной динамической нагрузки к соответствующей максимальной статической нагрузке:

$$K_д = M_{д \max} / M_{с \max}. \quad (\text{III.11})$$

На ЭВМ были определены значения коэффициентов $K_д$ при следующих параметрах:

- 1) расстояниях между колоннами $l_0 = 0,1\lambda$ и $l_0 = 0,3\lambda$;
- 2) коэффициентах превышения расчетной волны $K_i = h/h_{ср} = 1,5; 2,0; 2,5$;
- 3) логарифмических декрементов затухания $\gamma = 0,1; 0,15; 0,30$;
- 4) соотношениях $\mu = M_{ин \max} / M_{ср \max} = 0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0$.

В расчетах принималось, что инерционная составляющая волновой нагрузки пропорциональна первой степени, а скоростная составляющая — второй степени высоты волны. Вычисляли максимальные значения коэффициентов динамичности при подходе к сооружению группы из двух—четырёх волн расчетной высоты.

Как показали расчеты, влиянием параметров l_0 ; γ ; K_i можно пренебречь. Значения коэффициентов динамичности $K_д$ в зависимости от μ для диапазонов $0 \leq T/\tau \leq 0,8$ и $T/\tau \geq 1,2$, т. е. вне зоны резонанса, приведены на рис. 19.

Для зоны резонанса этот метод дает завышенные значения $K_д$, что объясняется влиянием различий между периодами волн группы. Эти небольшие различия периодов последовательно идущих волн, мало влияя на $K_д$ при периодах, далеких от резонанса, сильно снижают его при резонансе. В настоящее время точных значений коэффициента динамичности для зоны резонанса нет, однако проведенные исследования показали: при $T/\tau = 0,8 \div 0,9$ и $T/\tau = 1,1 \div 1,2$ $K_{д \max} < 3$, при $T/\tau = 0,9 \div 1,1$ $K_{д \max} < 3,5$. Эксперименты подтвердили, что полученные значения $K_д$ можно принять в качестве расчетных.

Коэффициент перегрузки. Принятые методы расчета статической составляющей и коэффициента динамичности дают максимальные значения волновой нагрузки на сооружение при заданных параметрах h и τ . Возможность увеличения нагрузки вследствие изменения параметров волны должна учитываться коэффициентом перегрузки.

Для жестких сооружений нагрузка может возрастать

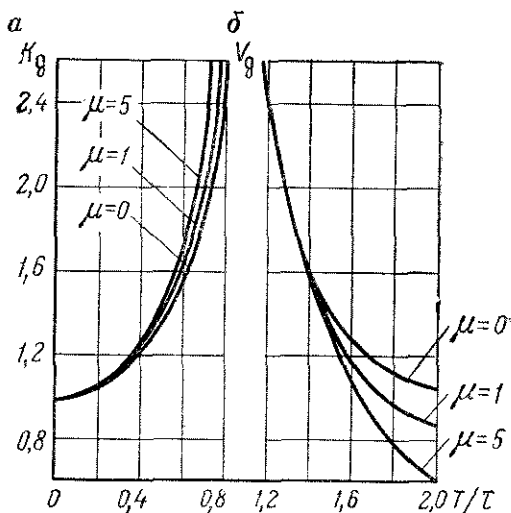


Рис. 19. Изменение коэффициента динамичности при $T/\tau=0 \div 0,8$ (а) и $T/\tau=0,8 \div 2,0$ (б)

только при увеличении высоты расчетной волны. Возможное увеличение коэффициента динамичности вследствие уменьшения периода волны незначительно и не может существенно повлиять на величину действующей на сооружение волновой нагрузки.

Для гибких сооружений, имеющих период собственных колебаний, близкий к периоду расчетной волны, небольшое уменьшение периода волны τ по сравнению с $\tau_{\text{ср}}$, принятым в расчете, приводит к резкому увеличению коэффициента динамичности. Следовательно, при конструировании таких ПБУ необходимо учитывать возможное изменение обоих параметров h и τ .

Анализ повторяемости элементов волн во время шторма основан на инвариантности их вероятностных характеристик. Распределение высот и периодов волн, а также их совместное распределение описываются едиными безразмерными кривыми, независимыми от интенсивности и стадии развития волнения. В работе [27] приведены значения обеспеченности i (в процентах) безразмерных коэффициентов $\bar{\tau} = \tau/\tau_{\text{ср}}$ в зависимости от параметра $\bar{h} = h/h_{\text{ср}}$. Имея величины $h_{\text{ср}}$ и $\tau_{\text{ср}}$, можно определить вероятность периодов τ волн заданной высоты h при шторме.

Вероятность значений коэффициентов динамичности определяется вероятностью периода расчетной волны. Зная период собственных колебаний сооружения, находим значения периодов волн τ , которые соответствуют коэффициентам дина-

мичности, изменяющимся в заданных пределах. Имея параметры h_{cp} и τ_{cp} , находим коэффициенты \bar{h} и $\bar{\tau}$, определяем вероятность периодов τ для волн высотой h .

Расчеты показали, что во время шторма с параметрами $h_{cp}=5,0$ м; $\tau_{cp}=10,0$ с (максимальный шторм на Каспийском море) для ПБУ «Баки», имеющего период собственных колебаний $T=6$ с, вероятность попадания в зону резонанса ($T/\tau=0,8 \div 1,2$) составляет: для волн $h=9$ м и $v'_1=7\%$, для волн $h=12$ м $v'_2=3\%$. Еще больше вероятность работы сооружения в околорезонансной зоне ($T/\tau=0,57 \div 0,8$, $K_d=1,6 \div 2,6$) и составляет соответственно $v''_1=22\%$ и $v''_2=15\%$. Следовательно, вероятность превышения расчетного значения коэффициента динамичности составляет $v_1=29\%$ и $v_2=18\%$.

Как видно из приведенных данных, с уменьшением высоты расчетной волны снижается статическая составляющая волновой нагрузки при одновременном увеличении вероятности превышения коэффициента динамичности, принятого в расчете. Следовательно, необходимо учитывать возможность увеличения как $Q_{ст}$, так и K_d , т. е. нормировать обеспеченность действующей волновой нагрузки.

Для определения величины действующей волновой нагрузки и ее обеспеченности были сделаны следующие расчеты. Все волны были разделены по высоте на группы; для каждой из групп были определены вероятность v_h и статическая составляющая нагрузки от наибольшей из волн группы $Q_{ст}$. Определяли диапазон возможных значений периодов волн, который делили на участки. Для каждого участка вычисляли вероятность v и предельное значение коэффициента динамичности K_d . Определяли величины волновых нагрузок $Q_{ст} \cdot K_d$ и их вероятность $v_h \cdot v_\tau$. Суммируя эти величины по всем участкам и группам, получили зависимость между волновой нагрузкой Q_v и ее обеспеченностью i .

На рис. 20 показана зависимость между Q_v — волновой нагрузкой на ПБУ «Баки» и ее обеспеченностью i при $\tau_{cp}=10$ с; $T=6$ с; $h_{cp}=5,0$ м. Приведенный график подтверждает необходимость нормирования обеспеченности волновой нагрузки.

Для сооружений I класса капитальности в качестве расчетной волны обычно принимаются волны 1%-ной обеспеченности. Для жестких конструкций волновая нагрузка определяется высотой расчетной волны и, следовательно, имеет ту же обеспеченность. Это дает основание принять в качестве расчетной волновой нагрузки $Q_{1\%}$ — нагрузку

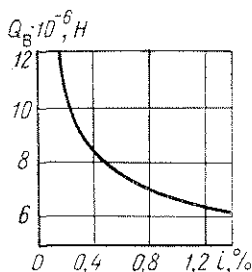


Рис. 20. График $Q_v = f(i)$ для ПБУ «Баки»

1%-ной обеспеченности. Приравняв Q_B из формулы (III.5) и $Q_{1\%}$, находим коэффициент перегрузки K_B

$$K_B = Q_{1\%}/Q_{ст}K_{д}. \quad (III.12)$$

Расчеты дали следующие значения K_B :
 при $T/\tau = 0 \div 0,35$ и $T/\tau = 0,65 \div 1,0$ $K_B = 1,1$;
 при $T/\tau = 0,35 \div 0,65$ $K_B = 1,15$.

§ 3. НАГРУЗКА ОТ ТЕЧЕНИЯ

Исходным параметром для расчета нагрузки является скорость течения. Она определяется по данным Гидрометеослужбы для того же района, для которого рассчитана волновая нагрузка. Если в другом районе скорость течения больше, для него производится проверочный расчет нагрузок от волн и течения.

Давление в Н/м² от течения определяется по формуле

$$q_T = 0,5C_x \rho b v^2, \quad (III.13)$$

где C_x — коэффициент обтекания (см. расчет волновых нагрузок); ρ — плотность воды, кг/м³; b — поперечный размер преграды в направлении, перпендикулярном течению, м; v — скорость течения, м/с.

Если скорость течения линейно изменяется по глубине, то нагрузка на вертикальную сваю полной длины определяется по формулам

$$Q_T = \frac{C_x \rho b H}{6} (v_0^2 + v_0 v_H + v_H^2); \quad z_T = \frac{H (v_0^2 + 2v_0 v_H + 3v_H^2)}{4 (v_0^2 + v_0 v_H + v_H^2)}, \quad (III.14)$$

где Q_T и z_T — равнодействующая давления от течения и расстояние от точки ее приложения до расчетного уровня моря; v_0 и v_H — скорости течения на расчетном уровне и у дна моря; H — глубина моря.

§ 4. ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА

Ветровая нагрузка на ПБУ рассчитывается для двух положений: рабочего (на колоннах) и транспортного (на плаву). В связи со специфичностью конструкции и условий ее эксплуатации была разработана специальная методика расчета ветровых нагрузок на ПБУ. При составлении методики были использованы работы [5, 6, 28]. Аэродинамические коэффициенты обтекания приняты по данным, имеющимся в литературе [31, 44, 47], и проверены по результатам продувок в аэродинамической трубе моделей пяти ПБУ различного типа [4]. Максимальная скорость ветрового потока принята по данным ЛО ГОИН [27].

Методика расчета ветровых нагрузок на ПБУ.

1. Расчет ветровых нагрузок в положении на колоннах. Ветровую нагрузку (в Н) на ПБУ и момент (в Н·м) от нее относительно уровня моря определяют по формулам

$$Q_{\text{ветр}} = q_{10} \sum n_i F_{pi} \beta_i; \quad M_{\text{ветр}} = q_{10} \sum n_i F_{pi} \beta_i z_i, \quad (\text{III.15})$$

где q_{10} — средний скоростной напор на высоте 10 м над уровнем моря, Па; n_i — коэффициент, учитывающий изменение среднего скоростного напора по высоте; F_{pi} — составляющая расчетной площади парусности ПБУ, м²; β_i — коэффициент динамичности; z_i — возвышение центра площади F_{pi} над уровнем моря, м.

Средний скоростной напор q_{10} вычисляют в зависимости от v_{10} — скорости ветра в м/с при двухминутном осреднении на высоте 10 м над уровнем моря, превышаемой один раз в 50 лет,

$$q_{10} = v_{10}^2 / 1,6. \quad (\text{III.16})$$

Значения коэффициентов высоты n_i и пульсации m_i приведены ниже:

| Высота над уровнем моря, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 100 | 150 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| n_i | 1,00 | 1,15 | 1,25 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,60 |
| m_i | 0,40 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,31 |

Составляющая расчетной площади парусности определяется по формуле

$$F_{pi} = F_i \varphi C_x e, \quad (\text{III.17})$$

где F_i — вычисленная по наружному контуру площадь проекции участка конструкции на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку, м²; φ — коэффициент заполнения, равный отношению суммы площадей проекций элементов конструкции на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку, к площади проекции всей конструкции; для пространственных ферм $\varphi = \varphi_{пл} \eta$; $\varphi_{пл}$ — коэффициент заполнения наветренной грани фермы; η — коэффициент, учитывающий пространственность конструкции; C_x — аэродинамический коэффициент обтекания; e — коэффициент затенения, учитывающий уменьшение площади парусности конструкции, прикрываемой от ветрового потока другой конструкцией, находящейся на переднем плане.

Для наиболее характерных конструкций на ПБУ принимают следующие значения коэффициентов φ и C_x .

Колонна опорная:

цилиндрическая без реек или с рейками, расположенными в плоскости ветрового потока $\varphi = 1,0$; $C_x = 0,6$;

цилиндрическая с рейками, расположенными в плоскости, перпендикулярной ветровому потоку $\varphi = 1,0$; $C_x = 0,8$;

призматическая, сплошностенчатая, прямоугольного сечения $\varphi = 1,0$; $C_x = 2,0$;

решетчатой конструкции для четырехгранной колонны

$$C_x = \Sigma F_i C_{xi} / \Sigma F_i; \quad \varphi = \varphi_{пл} \eta_1; \quad \varphi_{пл} = \Sigma F_i / F_{пл}, \quad (\text{III.18})$$

где $F_{пл}$ — площадь наветренной грани одной панели колонны, вычисленная по наружному контуру, м²; F_i — площадь проекции отдельного элемента наветренной грани панели на ее плоскость; C_{xi} — аэродинамический коэффициент обтекания отдельного элемента (для трубчатых элементов при $d > 0,5$ м $C_x = 0,7$, при $d \leq 0,5$ м $C_x = 1,2$; для некруглых элементов $C_x = 1,4$); η_1 — коэффициент, учитывающий пространственность конструкции, определяется по табл. 7 в зависимости от коэффициента $\varphi_{пл}$ для наветренной грани.

Таблица 7

| $\varphi_{пл}$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | |
|----------------|-----------|------|------|------|------|------|
| η_1 | 2,00 | 1,85 | 1,68 | 1,50 | 1,33 | |
| η_2 | $l/h < 1$ | 1,00 | 0,85 | 0,68 | 0,50 | 0,33 |
| | $l/h = 2$ | 1,00 | 0,90 | 0,75 | 0,60 | 0,45 |
| | $l/h = 4$ | 1,00 | 0,93 | 0,80 | 0,67 | 0,53 |

Предполагается, что направление ветрового потока перпендикулярно плоскости наветренной грани панели. При направлении ветрового потока по диагонали колонны значение φ увеличивается на 20%.

Для трехгранной решетчатой колонны коэффициент φ , вычисленный по формуле (III.18), снижается на 10%.

Корпус ПБУ, рубки, обшитый портал под вышкой $\varphi = 1,0$; $C_x = 1,0$.

Подъемники опорных колонн (обшитые), кабина и постамент крана, фонари машинного и насосного отделений, стеллажи труб, рельсы портала, бункеры $\varphi = 1,0$; $C_x = 1,2$.

Подъемники опорных колонн, портал вышки (металлоконструкция) $\varphi = 1,0$; $C_x = 1,4$.

Труба машинного отделения, цилиндрические конструкции при $d > 0,5$ м $\varphi = 1,0$; $C_x = 0,6$.

Ферменные конструкции, расположенные в плоскости, нормальной к ветровому потоку, и изготовленные из труб $C_x = 1,2$, из уголков или другого проката $C_x = 1,4$.

$$\varphi = \varphi_{пл} [1 + (n - 1) \eta_2], \quad (\text{III.19})$$

где $\varphi_{пл}$ — коэффициент заполнения плоской фермы; n — число плоских ферм; η_2 — коэффициент, учитывающий затененность

второй и последующих ферм; определяется по табл. 7 в зависимости от коэффициента $\varphi_{пл}$ и отношения l/h (l — расстояние между соседними фермами, h — высота фермы).

Буровая вышка:

вышка ферменной конструкции, изготовленная из труб $C_x=1,2$; из уголков $C_x=1,4$.

$$\varphi = 1,05\varphi_{пл}\eta_1, \quad (\text{III.20})$$

где $\varphi_{пл}$ — коэффициент заполнения одной грани фермы; η_1 — коэффициент, учитывающий пространственность конструкции вышки, определяется по табл. 7 в зависимости от $\varphi_{пл}$;

обшивка вышки, $\varphi=1,0$; $C_x=1,0$;

площадки для верхового и для установки кронблока: обшитые, $\varphi=1,0$; $C_x=1,2$; необшитые, изготовленные из труб, $\varphi=0,3$, $C_x=1,2$; необшитые, изготовленные из уголков, $\varphi=0,3$, $C_x=1,4$;

трапы, $\varphi=0,4$, $C_x=1,4$.

Площади необшитых площадок и трапов определяют без учета их затенения ферменной конструкцией вышки. Если в расчетном положении свечи могут находиться за пальцем вышки, то их площадь, проектируемая на ферменную конструкцию вышки, учитывается с коэффициентами $\varphi=1,0$; $C_x=1,2$.

Если конструкция, находящаяся на переднем плане (по направлению ветрового потока), прикрывает конструкцию, находящуюся сзади, площадь парусности последней определяют с учетом коэффициента затенения e . Если обе конструкции имеют примерно одинаковую высоту, то при $l < h$ $e=0$; при $h \leq l < 2h$ $e=0,5$; при $l \geq 2h$ $e=1,0$ (h — высота конструкций, l — расстояние между ними).

Если конструкция, находящаяся на переднем плане, ниже конструкции, находящейся сзади, необходимо полностью учесть неприкрываемую часть площади. При расчете парусности затенение опорных колонн друг другом не учитывается.

Парусность леерных ограждений, кнехтов, небольших насосов, другого оборудования, установленного на открытых палубах, учитывается увеличением расчетной площади парусности ПБУ (без учета опорных колонн) на 5%. Возможное обледенение также учитывается увеличением расчетной площади парусности на 5%. Центр этих площадей принимается на уровне главной палубы.

Коэффициент динамичности ветровой нагрузки β_i определяется по формуле

$$\beta_i = 1 + 0,60\xi m_i, \quad (\text{III.21})$$

где ξ — коэффициент, учитывающий динамические характеристики сооружения, определяется в зависимости от величины $T\nu_{10}$ (T — период собственных колебаний ПБУ в положении на

колоннах, с; v_{10} — скорость ветрового потока, м/с); m_i — коэффициент пульсации скоростного напора для составляющей расчетной площади парусности, определяется в зависимости от высоты ее центра над уровнем моря.

| | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Tv_{10}, \text{ м/с}^2$ | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 200 | 240 | 280 |
| ξ | 1,95 | 2,10 | 2,22 | 2,32 | 2,50 | 2,65 | 2,78 | 2,90 |

Для ПБУ «Баки», рассчитанной на условия работ в Каспийском море, при ветре, действующем на борт ПБУ, которая находится в рабочем положении, ветровая нагрузка $Q_{\text{ветр}} = 280$ тс.

2. Расчет ветровых нагрузок в положении на плаву.

Ветровая нагрузка (в Н) на ПБУ и момент (в Н·м) от нее относительно уровня моря определяют по формулам:

$$Q_{\text{ветр}} = q_0 \sum n_i F_{pi}; \quad M_{\text{ветр}} = q_0 \sum n_i F_{pi} z_i, \quad (\text{III.22})$$

где n_i — коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора по высоте; F_{pi} — составляющая расчетной площади парусности ПБУ; z_i — возвышение центра площади парусности F_{pi} над горизонтальной плоскостью, проходящей через середину осадки корпуса ПБУ; q_0 — скоростной напор на высоте 6 м над уровнем моря, Па.

Величина q_0 определяется при расчете нагрузок на период перегона — по техническому заданию на проект перегона; при расчете ветровых нагрузок во время перехода — по допускаемой балльности ветра, определяемой техническим заданием на проектирование ПБУ:

| | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Балльность ветра | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| q_0 , Па | 367 | 459 | 640 | 836 | 1035 | 1288 |

При обледенении расчетная площадь парусности и ее статический момент увеличиваются соответственно для ПБУ со сплошностенчатыми колоннами на 5 и 10%, а для ПБУ с решетчатыми колоннами на 10 и 20%.

§ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПБУ (УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА)

Как указывалось выше, при определении периода собственных колебаний ПБУ рассматривается как пространственная конструкция, состоящая из ригеля (корпус ПБУ) и стоек (опорные колонны). В расчетах при четном числе опорных колонн пространственная конструкция заменяется плоской рамой (рис. 21). Принимается, что опорные колонны жестко закреплены в корпусе ПБУ и оперты на грунт.

Вследствие наклона колонны от воздействия горизонтальных нагрузок поворачивается и ее опорная часть. Вертикальная реакция опоры смещается на некоторое расстояние от

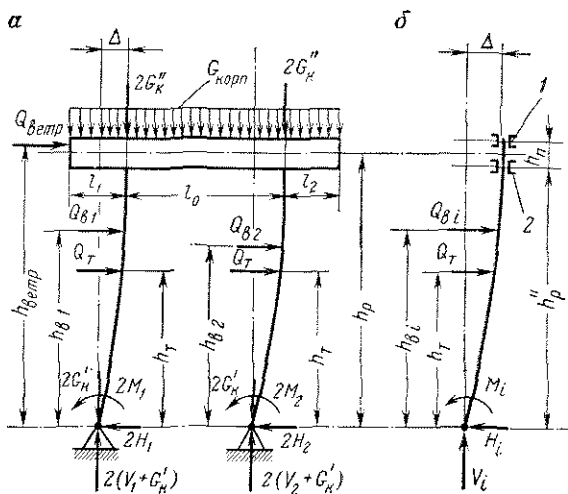


Рис. 21. Расчетные схемы:

а — ПБУ с четырьмя опорными колоннами; б — ПБУ с одной опорной колонной; 1 и 2 — верхний и нижний опорные пояса корпуса ПБУ

оси колонны. За счет эксцентриситета приложения опорной реакции возникает разгружающий момент, величина которого находится в прямой зависимости от вертикальных и горизонтальных внешних нагрузок на ПБУ и размеров опорной части колонны.

Для упрощения расчетов приняты следующие допущения:

обе консоли рамы приняты одинаковой длины: $l_1 = l_2 = l_K$;

масса корпуса принята равномерно распределенной по длине ригеля;

распределенная масса колонны заменена двумя сосредоточенными массами m_K' и m_K'' ;

горизонтальные нагрузки на ПБУ заменены приведенной силой $Q_{пр} = M'_{опр}/h_{пр}$, где $M'_{опр}$ — сумма моментов от действующих на ПБУ ветра, волн и течения относительно пяты опорной колонны; G — общий вес ПБУ; $G_{корп}$ — вес корпуса ПБУ с оборудованием, запасами и балластом; G_K — вес опорной колонны с учетом веса вытесненной ею воды и ее составляющие G_K' и G_K'' определяются как произведения соответствующих масс на g — ускорение свободного падения тела.

Для определения опорных моментов M_1 и M_2 используется известная из расчета фундаментов на колебания зависимость между опорным моментом и углом поворота подошвы фундамента φ [37]

$$\varphi = M/C_{\varphi}I_{\varphi}, \quad (III.23)$$

где I_{φ} — момент инерции сечения пяты опорной колонны относительно оси, перпендикулярной плоскости колебаний; C_{φ} — коэффициент неравномерного сжатия грунта.

Значения C_{φ} при расчетном сопротивлении грунта $P_D = 100 \div 500$ кПа приводятся в СНиП и составляют соответственно $(4 \div 14) 10^7$ Н/м³. В литературе приводится следующая формула для определения C_{φ} , которая может быть использована при $P_D > 500$ кПа

$$C_{\varphi} = C_0 \left[1 + \frac{2(a+3b)}{eF_{\varphi}} \right] \sqrt{\frac{P_{cp}}{P_0}}, \quad (III.24)$$

где $P_0 = 20$ кПа и $e = 1$ м⁻¹ — постоянные коэффициенты; F_{φ} — площадь пяты опорной колонны; a и b — размеры пяты колонны в плоскости колебаний и в перпендикулярной плоскости; $P_{cp} = (0,25G_{корп} + G_K)/F_{\varphi}$ — среднее давление под опорой; C_0 — характеристика грунта, определяется по табл. 8.

Таблица 8

| Грунты | Характеристика грунтов | C_0 , кН/м ³ |
|------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Пески | Пылеватые водонасыщенные | 12 000 |
| | Пылеватые средней плотности | 14 000 |
| | Мелкие, средние, крупные | 18 000 |
| Глины и суглинки | Мягкопластичные, $B=0,5 \div 0,75$ | 8 000 |
| | Тугопластичные, $B=0,25 \div 0,5$ | 20 000 |
| | Твердые, $B < 0$ | 30 000 |
| Супеси | Пластичные, $B=0,5 \div 1,0$ | 10 000 |
| | Пластичные, $B=0 \div 0,5$ | 16 000 |

Плавающие буровые установки рассчитывают на наиболее неблагоприятные условия работы. Поэтому при определении коэффициента C_0 необходимо ориентироваться на наиболее слабые грунты, возможные в районах эксплуатации.

Составив уравнения деформации для ригеля и стоек рамы и решив их совместно, получаем следующую систему из семи уравнений для определения опорных реакций V_1 ; V_2 ; H_1 ; H_2 ; M_1 ; M_2 и смещения корпуса Δ .

$$\begin{aligned}
 a) \quad M_1(1 + \alpha_1 v_1) &= \Delta V_1(1 - \alpha_1 \mu_1) + H_1 h_p(1 + \alpha_1 - \alpha_1 \mu_1) + \\
 &+ A - \frac{1}{3} V_0 l_0 \\
 b) \quad M_2(1 + \alpha_2 v_2) &= \Delta V_2(1 - \alpha_2 \mu_2) + H_2 h_p(1 + \alpha_2 - \alpha_2 \mu_2) - \\
 &- A - \frac{1}{3} V_0 l_0 \\
 c) \quad M_1 \left(\frac{1}{C_\Phi l_\Phi} + \frac{v_1}{V_1 h_p} \right) &= \frac{\Delta}{h_p} (v_1 + \mu_1) - \frac{H_1}{V_1} (1 - v_1 + \mu_1) \\
 d) \quad M_2 \left(\frac{1}{C_\Phi l_\Phi} + \frac{v_2}{V_2 h_p} \right) &= \frac{\Delta}{h_p} (v_2 + \mu_2) - \frac{H_2}{V_2} (1 - v_2 + \mu_2) \\
 e) \quad V_1 &= 0,25 G_{\text{корп}} + G_K - V_0 \\
 f) \quad V_2 &= 0,25 G_{\text{корп}} + G_K + V_0 \\
 g) \quad H_1 + H_2 &= 0,25 Q_{\text{пр}}
 \end{aligned}$$

(III.25)

где

$$\begin{aligned}
 V_0 &= \frac{1}{2l_0} [Q_{\text{пр}} h_p + (G_{\text{корп}} + 4G_K) \Delta - 2(M_1 + M_2)]; \\
 A &= \frac{G_{\text{корп}} (l_0^2 - 6l_K^2)}{24(l_0 + 2l_K)}; \quad K_1 = \sqrt{\frac{V_1}{EI_{\text{пр}}}}; \quad K_2 = \sqrt{\frac{V_2}{EI_{\text{пр}}}}; \\
 \alpha_1 &= \frac{EI}{V_1 l_0 h_p}; \quad \alpha_2 = \frac{EI}{V_2 l_0 h_p}; \\
 v_1 &= K_1 h_p \operatorname{tg} \frac{K_1 h_p}{2}; \quad v_2 = K_2 h_p \operatorname{tg} \frac{K_2 h_p}{2}; \\
 \mu_1 &= K_1 h_p \operatorname{ctg} K_1 h_p; \quad \mu_2 = K_2 h_p \operatorname{ctg} K_2 h_p;
 \end{aligned}$$

EI и $EI_{\text{пр}}$ — приведенные жесткости корпуса и опорных колонн. Индексы 1 и 2 соответствуют колоннам первого (левого) и второго (правого) ряда.

Имея значения вертикальной составляющей опорной реакции и опорного момента, строим эпюры давления $p_i(x)$ под первой и второй опорными колоннами.

$$p_i(x) = \frac{V_i + G_K'}{F_\Phi} + \frac{M_i x}{I_\Phi}, \quad i = 1 \text{ и } 2. \quad (\text{III.26})$$

Эпюра давления приведена на рис. 22, а. Как показали расчеты, с ростом горизонтальной нагрузки опорные моменты под обеими колоннами увеличиваются. Кроме того, происходит перераспределение вертикальной нагрузки на опоры — уменьшение на первой и увеличение на второй опоре. В результате значение $p_{\text{мин}}$ — минимального давления под первой опорной колонной — уменьшается, приближаясь к нулю, а значение

$p_{2 \max}$ — максимального давления под второй колонной — возрастает, приближаясь к давлению предварительной задавки p_3 (максимальное давление на грунт опорной колонны во время установки ПБУ в рабочее положение [34]).

Давление под опорными колоннами может изменяться в пределах $0 \leq p \leq p_3$. Условие $p_{\min} > 0$ является обычным при расчете фундаментов. Ограничение $p_{\max} < p_3$ вызвано следующим.

При установке ПБУ опорные колонны задавливаются в грунт вертикальной нагрузкой, обычно на 80—90% превы-

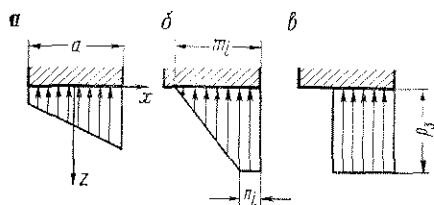


Рис. 22. Эпюры давлений под пятой опорной колонны

шающей среднюю, приходящуюся на колонну. Под действием этой нагрузки колонны погружаются в грунт до несущего слоя и уплотняют его. Несущая способность грунта под опорой равна давлению задавки.

Если давление под частью опорной колонны превысит давление задавки, грунт в этом месте проседает, произойдет перераспределение давления. Будет нарушена линейная зависимость между углом поворота опорного сечения и опорным моментом, заложенная в расчет. Следовательно, система (III.25) применима только для горизонтальной нагрузки, при которой соблюдаются условия $0 \leq p \leq p_3$.

При увеличении нагрузки давление под частью пяты опорной колонны превысит давление задавки. Грунт под опорой перераспределится, давление выравняется. Полагая, что максимальное давление под опорой не может превышать давление задавки, получаем новую эпюру (рис. 22, б). Преобразовывая формулу (III.23) для этой эпюры, получаем:

$$\varphi_i = \frac{1}{C_\varphi} \frac{p_3}{m_i - n_i}, \quad i = 1 \text{ и } 2. \quad (\text{III.27})$$

Параметры m_i и n_i определяются из уравнений

$$m_i + n_i = 2V_i / b p_3, \\ m_i n_i = \frac{6M_i}{b p_3} - \frac{3V_i a}{b p_3} + \frac{4V_i^2}{b^2 p_3^2}, \quad i = 1 \text{ и } 2. \quad (\text{III.28})$$

Реакции опор и перемещение Δ определяются при совместном решении уравнений системы (III.25) и уравнений системы (III.28). В системе (III.25) коэффициент $1/C_\varphi I_\varphi$ заменяется

новым коэффициентом $p_3/C_\phi (m_i - n_i)M_i$, соответствующим принятой эпюре давления.

При дальнейшем увеличении нагрузки $Q_{пр}$ угол наклона эпюры давления возрастает. При $m_i - n_i \leq 0,2$ а можно принять упрощенную эпюру (рис. 22, в). В этом случае опорные моменты определяют по формуле

$$M_i = \frac{V_i a}{2} \left(1 - \frac{V_i}{P_3} \right), \quad i = 1 \text{ и } 2. \quad (\text{III.29})$$

Усилие предварительной задавки колонн в грунт $P_3 = F_\phi p_a$.

Опорные реакции H_1, H_2, V_1, V_2 и горизонтальное смещение Δ определяются при решении системы уравнений a, b, e, f, g формул (III.25).

Таким образом, для определения величины смещения корпуса в зависимости от величины горизонтальной силы $Q_{пр}$ применяются три метода расчета, учитывающие соответствующие

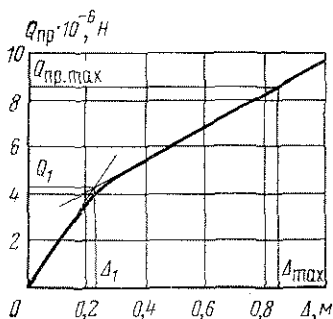


Рис. 23. График перемещений $Q_{пр} = f(\Delta)$ для ПБУ «Бакы»

щие условия работы грунта. Получается нелинейная зависимость между Δ и $Q_{пр}$, примером которой может служить приведенный на рис. 23 график, построенный по данным ПБУ «Бакы».

Исследования показали, что колебания ПБУ с учетом работы грунта имеют псевдогармонический характер и описываются уравнением:

$$\frac{d^2 \Delta}{dt^2} + \frac{1}{m_{пр}} Q_{пр}(\Delta) = 0, \quad (\text{III.30})$$

где $m_{пр} = m_{корп} + 4m''_к$ — приведенная масса ПБУ; $Q_{пр}(\Delta)$ — восстанавливающая сила в функции от перемещения.

Точное решение уравнения методом численного интегрирования требует весьма громоздких вычислений. Поэтому воспользуемся следующим приближенным решением [38]:

$$T = 2\pi \frac{1}{\sqrt{\frac{5}{m_{пр} \Delta_{max}^5} \int_0^{\Delta_{max}} Q_{пр}(\Delta) \Delta^3 d\Delta}}. \quad (\text{III.31})$$

Заменив криволинейную эпюру (рис. 23) двумя прямыми и используя уравнение (III.31), после интегрирования и упрощения получим расчетную формулу для определения периода собственных колебаний ПБУ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_{пр}\Delta_{max}}{1,25Q_{max} - 0,25Q_1\delta^4 - 0,25(Q_{max} - Q_1)\frac{1-\delta^5}{1-\delta}}}; \quad (III.32)$$

$$\delta = \Delta_1/\Delta_{max},$$

где Q_{max} и Δ_{max} — максимальная приведенная сила, действующая на ПБУ, и соответствующее ей смещение корпуса; Q_1 и Δ_1 — координаты точки пересечения прямых, определяются по графику перемещений (рис. 23).

Результаты расчетов по предлагаемой методике были сопоставлены с данными замеров периодов собственных колебаний ПБУ «Хазар» [41], проведенных в 1969, 1972 и 1974 гг. В 1969 г. ПБУ стояла на слабых грунтах и погружение колонн составило 19 м. В 1972 и 1974 гг. ПБУ стояла на песчаном грунте с высокой несущей способностью. В табл. 9 приведены основ-

Таблица 9

| Год эксперимента | Н, м | h_3 , м | h_p , м | C_0 , кН/м ³ | C_ϕ , кН/м ³ | T_p , с | $T_э$, с |
|------------------|------|-----------|-----------|---------------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| 1969 | 43,0 | 19,0 | 83,2 | 20 000 | 228 500 | 3,77 | 2,71 |
| | | | | 30 000 | 336 700 | 3,58 | |
| 1972 | 44,5 | 4,2 | 68,4 | 12 000 | 136 000 | 3,10 | 3,05 |
| | | | | 14 000 | 158 000 | 3,00 | |
| 1974 | 50,5 | 3,0 | 73,6 | 14 000 | 158 000 | 3,27 | 3,23 |
| | | | | 18 000 | 204 000 | 3,16 | |

ные параметры ПБУ во время проведения опытов и значения периодов собственных колебаний: T_p — рассчитанных по предлагаемой методике, $T_э$ — определенных экспериментом.

Приведенные в таблице данные эксперимента получены при воздействии на сооружение горизонтальной нагрузки 250 кН. В случае действия на сооружение расчетных нагрузок период собственных колебаний ПБУ существенно возрастает.

При установке ПБУ на песчаных грунтах и небольшом заглублении опорных колонн период собственных колебаний, определенный по данной методике, хорошо согласуется с данными эксперимента. При большой глубине погружения колонн в грунт расчетный период оказался больше эксперимен-

тального. Это объясняется тем, что в расчете не была учтена работа грунта по боковой поверхности погруженной части колонны.

В настоящее время нет достаточных экспериментальных данных о влиянии длительного раскачивания колонны под воздействием знакопеременной нагрузки на упругие свойства грунтов. Поэтому работа грунтов по боковой поверхности колонны не учитывается, что несколько завышает расчетный период собственных колебаний. Принятое допущение приводит к некоторому увеличению расчетных нагрузок на ПБУ, т. е. повышает запас прочности и устойчивости сооружения.

Ниже приведен период собственных колебаний ПБУ «Баки» в рабочем положении в зависимости от $Q_{пр}$

| | | | | |
|------------------------|------|-----|-----|-----|
| $Q_{пр}, тс$ | <300 | 400 | 600 | 800 |
| $T, с$ | 4,3 | 4,5 | 5,2 | 5,7 |

§ 6. РАСЧЕТ ПБУ В РАБОЧЕМ ПОЛОЖЕНИИ

Целью гидротехнического расчета — расчета сооружения в рабочем положении на колоннах — является проверка устойчивости сооружения и определение максимальных нагрузок, действующих на опорные колонны ПБУ [21].

Расчетная схема ПБУ с четырьмя опорными колоннами была приведена на рис. 21, а. Высота рамы h_p , опорные моменты M_1 и M_2 , величина смещения корпуса Δ принимаются из расчета периода собственных колебаний ПБУ.

На раму действуют нагрузки от волн, течения и ветра, а также собственный вес конструкции. Расчет такой рамы производится по общим методам строительной механики. Для упрощения расчета распределенные нагрузки от волн, течения и ветра заменены их равнодействующими, вес корпуса принят равномерно распределенным по его длине, вес колонн заменен двумя силами, приложенными к корпусу и к опорной части колонн. Учитывая малую вероятность одновременного действия на ПБУ нагрузки от волн максимальной высоты и ветровой нагрузки от наиболее сильного и длительного порыва ветра, меньшую из этих нагрузок снижаем на 20%. Как показали расчеты для ПБУ, установленных на глубоководных акваториях, смещение корпуса под действием максимальной горизонтальной нагрузки составляет $\Delta = (0,005 \div 0,010) h_p$. Это вызывает дополнительный изгиб опорных колонн под действием веса сооружения, который также необходимо учесть в расчете.

Расчет ПБУ производится для двух взаимно перпендикулярных направлений. Если на акватории, где предполагается эксплуатация ПБУ, имеется ярко выраженная роза ветров, рекомендуется при установке ПБУ ориентировать ее продольной осью по направлению господствующих ветров.

В этом случае при определении нагрузок для двух направленных учитывается их зависимость от розы ветров и волнения. Определяется суммарная нагрузка на ПБУ: опрокидывающий момент

$$M_{\text{опр}} = Q_{\text{ветр}} h_{\text{ветр}} + \sum^n Q_{\text{в}} h_{\text{в}} + \sum^n Q_{\text{т}} h_{\text{т}} + \Delta (G_{\text{корп}} + nG_{\text{к}}); \quad (\text{III.33})$$

сдвигающее усилие

$$Q_{\text{сд}} = Q_{\text{ветр}} + \sum^n Q_{\text{в}} + \sum^n Q_{\text{т}}.$$

Здесь $Q_{\text{ветр}}$ и $h_{\text{ветр}}$ — равнодействующая ветровой нагрузки на ПБУ и расстояние от точки ее приложения до пяты опорной колонны; $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{т}}$, $h_{\text{в}}$, $h_{\text{т}}$ — равнодействующие волновой нагрузки и нагрузки от течения на опорные колонны и расстояния от точек их приложения до пяты опорной колонны.

При определении $M_{\text{опр}}$ и $Q_{\text{сд}}$ нужно иметь в виду, что их величины зависят от массы сооружения. Во-первых, от массы зависит период собственных колебаний ПБУ и, следовательно, величины коэффициента динамичности для ветровой и волновой нагрузок. Во-вторых, составляющая момента $\Delta (G_{\text{корп}} + 4G''_{\text{к}})$ зависит от веса сооружения. Поэтому $M_{\text{опр}}$ и $Q_{\text{сд}}$ желательно рассчитывать для максимальной и минимальной масс сооружения. Однако учитывая трудоемкость расчетов и то, что разница между величинами нагрузок, полученными в этих расчетах, сравнительно невелика, допускается производить гидротехнический расчет на действие максимальной внешней нагрузки, полученной для случая, когда сооружение имеет максимальную массу. Принятое упрощение идет в запас устойчивости ПБУ. Окончательный расчет сооружения, который производится для уточнения фактических характеристик ПБУ, целесообразно сделать для двух значений внешних нагрузок и, следовательно, величин $M_{\text{опр}}$ и $Q_{\text{сд}}$.

Кроме того, должен быть проверочный расчет сейсмической нагрузки на ПБУ. Величина сейсмической нагрузки сравнивается с суммарной нагрузкой от волн и ветра. Расчет ПБУ производится на действие большей из этих нагрузок.

Опорные реакции: горизонтальные H_1 , H_2 и вертикальные V_1 , V_2 , действующие на первую и вторую опорные колонны, определяются по формулам (III.34), индексы max и min показывают, что реакции определены соответственно при максимальном и минимальном весе сооружения. При составлении этих формул учитывалось, что нагрузки от течения, действующие на все опорные колонны, одинаковы.

$$V_{1 \text{ max}} = \frac{G_{\text{корп max}} (l_0 + l_1 - l_2)}{4l_0} - \frac{M_{\text{опр}}}{2l_0} + \frac{M_1 + M_2}{l_0},$$

$$V_{2 \text{ max}} = \frac{G_{\text{корп max}} (l_0 - l_1 + l_2)}{4l_0} + \frac{M_{\text{опр}}}{2l_0} - \frac{M_1 - M_2}{l_0},$$

$$V_{1 \min} = \frac{G_{\text{корп min}} (l_0 + l_1 - l_2)}{4l_0} - \frac{M_{\text{опр}}}{2l_0} + \frac{M_1 + M_2}{l_0}, \quad (III.34)$$

$$V_{2 \min} = \frac{G_{\text{корп min}} (l_0 - l_1 + l_2)}{4l_0} + \frac{M_{\text{опр}}}{2l_0} - \frac{M_1 + M_2}{l_0},$$

$$H_1 = 0,25Q_{\text{ветр}} + Q_T + Q_{B1} - S,$$

$$H_2 = 0,25Q_{\text{ветр}} + Q_T + Q_{B2} + S,$$

где

$$S = 0,5Q_B \eta_1 \left[1 + \frac{K(1 - \eta_1^2)}{K_0} \right] - 0,5Q_{B2} \eta_2 \left[1 + \frac{K(1 - \eta_2^2)}{K_0} \right] +$$

$$+ \frac{1}{8h_p K_0} \left[6Q_{\text{ветр}} (h_{\text{ветр}} - h_p) + \frac{G_{\text{корп}}}{l_0 + l_1 + l_2} (l_0^2 - 3l_1^2 - 3l_2^2) \right];$$

$$\eta_1 = \frac{h_{B1}}{h_p}; \quad \eta_2 = \frac{h_{B2}}{h_p}; \quad K = \frac{h_p}{2I_{\text{пр}} l_0}; \quad K_0 = 2K + 3;$$

I и $I_{\text{пр}}$ — моменты инерции сечения корпуса ПБУ и опорной колонны.

Максимальные изгибающие моменты в колоннах первого и второго ряда действуют в сечениях, расположенных в районах нижних опорных поясов корпуса ПБУ (см. рис. 21, б), и определяются по формулам:

$$M_{K,1} = H_1 h_p'' + V_{1 \max} \Delta - M_1 - Q_T (h_p'' - h_T) - Q_{B,1} (h_p'' - h_{B,1}), \quad (III.35)$$

$$M_{K,2} = H_2 h_p'' + V_{2 \max} \Delta - M_2 - Q_T (h_p'' - h_T) - Q_{B,2} (h_p'' - h_{B,2}),$$

где $h_p'' = h_p - 0,5h_p$; h_p — расстояние между опорными поясами корпуса.

Определяются следующие коэффициенты запаса [21]:
на опрокидывание

$$K_{\text{опр}} = \frac{M_{\text{восст}}}{M_{\text{опр}}} \geq 1,3,$$

где

$$M_{\text{восст}} = 0,5G_{\min} (l_0 + l_1 - l_2);$$

на общий сдвиг

$$K_{\text{сд}} = \frac{G_{\min} f}{Q_{\text{сд}}} \quad (III.37)$$

($f=0,3$ — коэффициент трения опорных колонн о грунт);
на сдвиг по каждой из колонн

$$K_{\text{сд } i} = \frac{(V_{i \min} + G'_k) f}{H_i} \geq 1,0, \quad i = 1 \text{ и } 2; \quad (III.38)$$

предварительной задавки колонн в грунт

$$K_3 = \frac{G_{\text{зад}} + G_{\text{к}}}{V_{i \max} + G'_{\text{к}}} \geq 1,3, \quad i = 1 \text{ и } 2 \quad (\text{Ш.39})$$

($G_{\text{зад}}$ — усилие задавки — максимальное усилие, которое должен развивать подъемник ПБУ).

$$G_{\text{зад}} \geq 1,3 \cdot V_{i \max} + 0,3G'_{\text{к}} - G''_{\text{к}}. \quad (\text{Ш.40})$$

Минимальный вес корпуса с запасами и балластом, при котором может быть проведена задавка колонн в грунт,

$$G_{\text{корп}} \geq 2,2G_{\text{зад}}. \quad (\text{Ш.41})$$

Если $G_{\text{корп min}} < 2,2G_{\text{зад}}$, перед установкой ПБУ на новую точку необходимо проверить имеющиеся на борту запасы и балласт и при необходимости принять дополнительный балласт в количестве:

$$m'_6 \geq \frac{1}{g} G_{\text{зад}} - m'_{\text{корп}} - m_3 - m_6, \quad (\text{Ш.42})$$

где m_3 и m_6 — масса запасов и балласта на борту ПБУ.

После завершения операции задавки дополнительный балласт должен быть сброшен.

При проектировании ПБУ на трех опорных колоннах гидротехнический расчет производится аналогично. Определяются коэффициенты запаса на опрокидывание, сдвиг, предварительной задавки в грунт. По полученным значениям максимального изгибающего момента и вертикальной нагрузки колонны проверяются на прочность.

Глава IV КОРПУС ПБУ

§ 1. КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА

Как отмечалось в гл. I, важнейшими факторами, определяющими архитектуру и конструкцию корпуса самоподъемной установки, являются число и конфигурация ее опорных колонн. Все отечественные ПБУ и более 30% зарубежных имеют четыре опоры, поэтому в данной главе рассматриваются только четырехопорные ПБУ. Большое влияние на конструкцию корпуса ПБУ оказывает также способ его разбивки на секции при постройке, обуславливающий возможность прохождения корпуса целиком или крупными блоками по водным путям от места постройки к месту эксплуатации.

Корпус ПБУ конструируется таким образом, чтобы обеспечилась возможность:

1) транспортировки ее в район эксплуатации самостоятельно или с помощью буксира с полным комплектом оборудования, необходимыми запасами и поднятыми опорами, при этом ПБУ должна обладать необходимой устойчивостью;

2) подъема корпуса над водой и удержания его на определенном уровне над поверхностью воды на трубчатых или решетчатых опорных колоннах, опирающихся на морское дно, при этом корпус должен обладать необходимой прочностью, а все сооружение в целом — устойчивостью против внешних нагрузок.

Перечисленные требования обуславливают выбор основных размеров корпуса ПБУ и расстояния (в продольном и поперечном направлениях) между опорными колоннами.

Корпус самоподъемной платформы представляет собой понтон цельносварной конструкции из листовой и профильной прокатной стали. Корпус с упрощенными обводами имеет прямые борта, плоское днище, палубу без седловатости, но со скатом для стока воды; обычно имеются местные платформы и второе дно. Системой продольных и поперечных переборок корпус разделен на водонепроницаемые отсеки. Система набора корпуса, как правило, комбинированная: палуба, днище и второе дно — набраны по продольной системе, борта, транцы и все переборки — по поперечной.

Форма корпуса ПБУ зависит от числа опор. В зависимости

от числа, размеров и типа выбранных опорных колонн в корпусе понтона делают сквозные шахты (от днища до палубы) соответственно круглой, квадратной или другой формы. В кормовой части понтона обычно имеется прямоугольный вырез (проем), над которым устанавливается буровая вышка. В носовой части понтона (обычно ниже ватерлинии) имеется поперек на всю ширину под углом примерно 45° для уменьшения сопротивления воды при буксировке (рис. 24). Шахта для прохождения опорных колонн занимает, как правило, отдельный отсек, образованный продольными и поперечными переборками и бортом.

В корпусе ПБУ с цилиндрическими колоннами (рис. 25) внутри отсека находится жесткий барабан, состоящий из двух оболочек, связанных вертикальными и горизонтальными диафрагмами. Барабан может служить опорой для портала подъемника. Верхние и нижние части барабана усилены элементами, конструктивно образующими опорные пояса. Барабан оперт в корпусе на радиально расположенные вертикальные переборки, усиленные стойками и горизонтальными шельфами. Палуба и днище в районе подкреплений имеют увеличенную толщину (до 30 мм).

В корпусе ПБУ с четырехгранными опорными колоннами (рис. 26) в нижней и верхней частях шахты располагаются опорные пояса рамной конструкции. Продольные переборки, образующие шахту, передают нагрузку на транец и поперечные переборки. В горизонтальной плоскости нагрузка передается на палубу и днище, которые в этом районе имеют утолщенные листы (до 30—40 мм).

Палуба, днище и переборки в районе бурового проема должны иметь увеличенную толщину вследствие усиленной коррозии, а также ввиду возможности повреждения их во время бурения.

Носовой транец корпуса ПБУ должен быть рассчитан с учетом явления слеминга — удара волн при транспортировке. Эти удары вызывают вибрацию корпуса и создают напряжения в нем, которые суммируются с напряжениями от общего изгиба. Модельные испытания ПБУ в бассейнах показали, что дополнительные напряжения от удара волн о носовой транец составляют около 30% напряжений от общего изгиба.

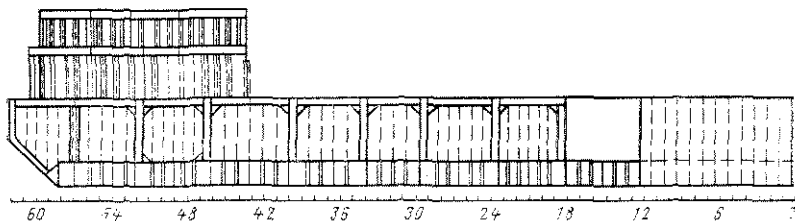
§ 2. ОБЩАЯ ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА

В отличие от обычных судов, для которых общая прочность характеризуется лишь продольной прочностью на вершине и подошве расчетной волны, корпус ПБУ рассчитывается на общую прочность как в продольном, так и в поперечном направлениях в положениях на плаву и опорных колон-

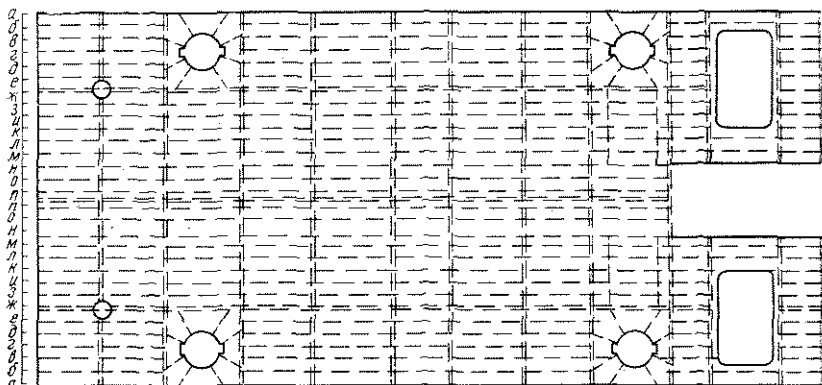
нах. Это объясняется следующими специфическими особенностями конструкции и эксплуатации ПБУ.

1. Плавучая буровая установка может находиться в транспортном и рабочем положениях. Для каждого из этих положений определяются свои расчетные нагрузки.

Разрез по ДП



План палубы



План днища

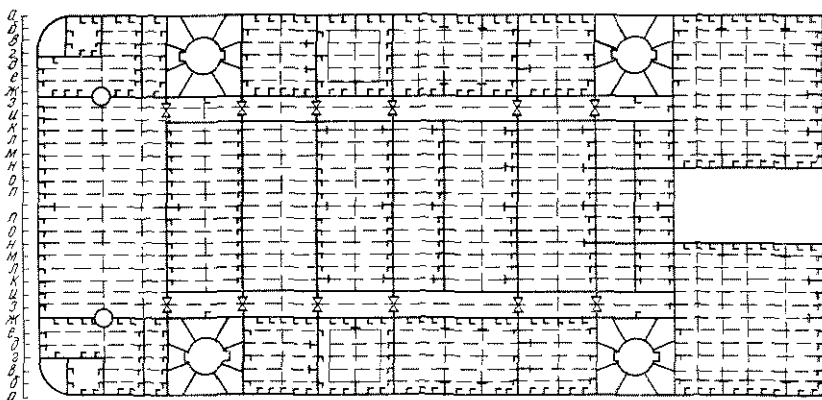


Рис. 24. Конструктивный чер-

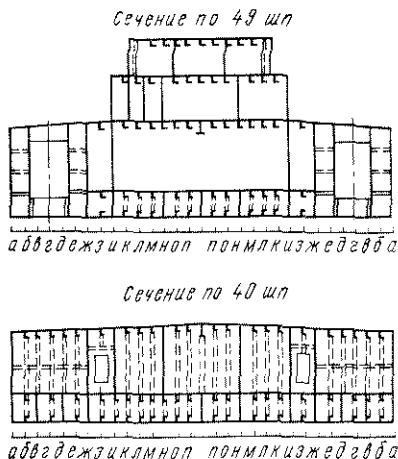
2. Соотношения основных размеров корпусов ПБУ выходят за пределы, обычные для судов.

3. Весовая нагрузка у ПБУ распределена, как правило, крайне неравномерно. Имеются очень крупные конструкции (опорные колонны, портал буровой вышки) с большими сосредоточенными весами и со значительным удалением их центра тяжести от нейтральной оси, передающие инерционные усилия на корпус ПБУ в положении на плаву.

В расчетах прочности корпус ПБУ рассматривается как балка, которая должна обладать достаточной прочностью, чтобы: а) воспринимать продольные и поперечные напряжения изгиба или комбинацию этих напряжений в положении на опорных колоннах; б) воспринимать изгибающие моменты с учетом инерционных усилий при нахождении на вершине и подошве волны в положении на плаву.

Общая прочность корпуса ПБУ в положении на плаву определяется по методике, общепринятой в судостроении. Для определения величины изгибающих моментов и перерезающих сил на вершине и подошве расчетной волны выбираются наиболее неблагоприятные случаи нагрузки: ПБУ порожнем (в этом случае наиболее неравномерно распределена нагрузка) и ПБУ, полностью загруженная с балластом. Длина расчетной волны принимается равной длине корпуса ПБУ, т. е. $\lambda_p = L$. Высота расчетной волны h_p может быть вычислена по формуле

$$h_p = 0,64 \sqrt{L} - 1. \quad (IV.1)$$



теж корпуса ПБУ «Аншерон»

Изгибающие моменты на вершине и подошве волны рассчитывают при различных положениях передвижного портала буровой вышки.

Расчет весовой нагрузки для ПБУ выполняется принятым в судостроении способом по следующим укрупненным статьям:

- металлический корпус;
- дерево в составе корпуса;
- оборудование и отделка жилых и служебных помещений;
- дельные вещи (люки, слани и т. д.);
- покрытия, цементировка, изоляция, окраска;
- устройства (якорное, швартовное и т. д.);
- механизмы и оборудование механической части;
- технологическое оборудование;

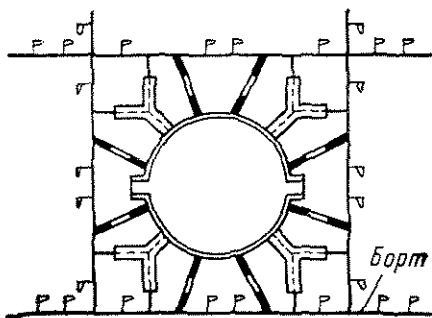


Рис. 25. Подкрепления корпуса в районе опорных колонн ПБУ с цилиндрическими колоннами

общесудовые и технологические системы;

электрооборудование;

снабжение, запасные части, инвентарь;

колонны;

запасы технологические: трубы бурильные и обсадные, порошкообразные материалы, буровой раствор, морская и пресная вода;

запасы судовые: топливо, масло, пресная вода, провизия; балласт.

Первые двенадцать статей нагрузки составляют для ПБУ водоизмещением порожнем $\Delta_{пор}$. Водоизмещение порожнем плюс 100% всех судовых и технологических запасов составляет водоизмещение при полной загрузке.

Весовая нагрузка в продольном и поперечном направлениях разбивается на 10 или 20 участков, т.е. строится ступенчатая кривая весовой нагрузки (рис. 27). Разница между силами веса и силами поддержания на каждом участке при постановке корпуса ПБУ на вершину (или подошву) волны составляет нагрузку на корпус ПБУ в продольном (или поперечном) направлении.

Общая прочность корпуса ПБУ в положении на колоннах. За расчетную нагрузку в положении ПБУ на колоннах при-

Рис. 26. Подкрепления корпуса в районе опорных колонн ПБУ с четырехгранными пространственными колоннами

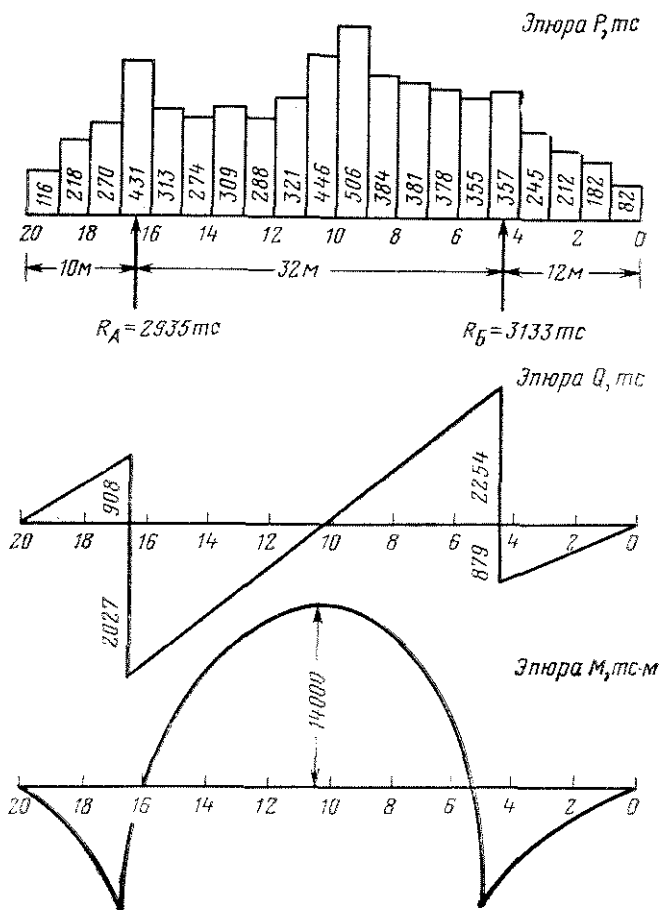
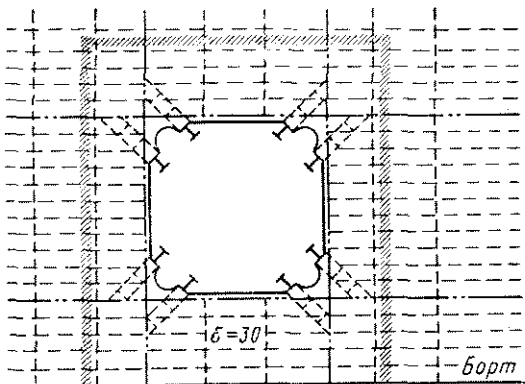


Рис. 27. Эюры весовой нагрузки P , перерезающих сил Q и изгибающих моментов M для ПБУ «Азербайджан»

нимается водоизмещение при полной загрузке с балластом и без учета веса колонн. Сооружение как в продольном, так и в поперечном направлениях рассматривается как однопролетная балка с двумя консолями, загруженная переменной по длине и ширине нагрузкой, состоящей из:

веса сооружения с оборудованием и полным снабжением; полных запасов, предусмотренных на ПБУ; веса принятого балласта.

Эта нагрузка дает максимальные изгибающие моменты и перерезающие силы.

В качестве расчетных сечений в продольном направлении выбирают: сечение по миделю, характерное для значительной части длины корпуса и расположенное в районе действия максимальных изгибающих моментов; сечения в местах ослабления корпуса вырезами (например, район проема).

Момент инерции и момент сопротивления поперечного и продольного сечений корпуса ПБУ определяются так же, как и в судостроительных расчетах, по эквивалентному брусу. Элементы эквивалентного бруса различных ПБУ (в сечениях по миделю) приведены в табл. 10.

Таблица 10

| Элементы эквивалентного бруса | Плавучие буровые установки | | |
|--|----------------------------|---------------|--------|
| | «Апшерон» | «Азербайджан» | «Бақы» |
| Момент инерции сечения, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$ | 21 515 | 50 500 | 90 838 |
| Момент сопротивления сечения относительно палубы, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$ | 9 400 | 16 450 | 25 000 |
| Момент сопротивления сечения относительно днища, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$ | 10 700 | 20 800 | 23 300 |

В процессе задавливания опорных колонн в грунт ПБУ устанавливаются на две диагонально расположенные опорные колонны. При этом корпус рассматривают как условную балку, длина которой равна расстоянию между осями диагонально расположенных колонн, служащих ей жесткими опорами. Момент инерции и момент сопротивления такой балки равны моменту инерции и моменту сопротивления сечения корпуса по диагоналям. При этом в расчет элементов сечения не включают транцы и поперечные переборки.

При задавливании колонн корпус считается нагруженным распределенной нагрузкой, равной весу ПБУ без колонн. В этом случае наблюдается изгиб корпуса в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Найденные по описанной выше расчетной схеме нормальные напряжения действуют в плоскости задавливаемых колонн.

§ 3. МЕСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА

Размеры элементов конструкций, подвергающихся только местным нагрузкам, определяют из расчета местной прочности в соответствии с «Правилами классификации и постройки морских стальных судов» Регистра СССР.

Нагрузки на палубу. Для плавучих буровых установок рекомендуются различные нагрузки на палубу:

- в районах помещений, проходов и т. д.;
- для открытых палуб и рабочих участков;
- для площадок хранения различных труб;
- для площадок хранения сухого бурового шлама;
- для площадок хранения бурового раствора;
- для палубы вертолетной площадки.

В пределах радиуса посадки вертолета конструкция вертолетной площадки должна выдерживать динамическую нагрузку от посадки вертолета на одно колесо, указанную в паспорте вертолета.

Нагрузка на подвыщечный портал. Конструкция подвыщечного портала обычно рассчитывается как перекрытие, несущее на себе следующие нагрузки:

- собственный вес портала;
- вес буровой вышки;
- вес труб на подсвечниках;
- вес наиболее тяжелой колонны на роторе;
- ветровая нагрузка на портал и вышку;
- дополнительные нагрузки от вибрации.

Прочность конструкции портала должна быть достаточной, чтобы воспринимать нагрузку, передаваемую на подроторные балки в момент ликвидации прихвата буровой колонны с помощью подъемников ПБУ.

Нагрузка на подкрепления в районе опорных колонн. При конструировании подкреплений в корпусе ПБУ в районе опорных колонн рассматривают следующие расчетные случаи:

- в положении на плаву с поднятыми колоннами;
- во время задавливания колонн в грунт;
- в рабочем положении.

Перерезающая сила и максимальная горизонтальная сила от изгибающего момента, действующего на колонну, воспринимаются: в рабочем положении — нижним опорным поясом; в положении на плаву — верхним опорным поясом в корпусе. В случае несущего портала верхним опорным поясом может служить портал подъемника. Вертикальная нагрузка передается через портал подъемника на палубу ПБУ.

Опорные пояса рассчитывают на усилие, возникающее в момент защемления или перекоса колонны в корпусе. Переборки подкрепления загружаются со стороны барабана вер-

тикальными усилиями, суммарная величина которых может достигнуть грузоподъемности подъемника.

§ 4. РАЗМЕРЫ СВЯЗЕЙ КОРПУСА

Размеры связей корпуса ПБУ назначаются в зависимости от суммарных напряжений, полученных в расчетах общей и местной прочности. К размерам, определенным таким образом, прибавляется поправка на коррозию. Для предварительного назначения размеров связей можно использовать следующие рекомендации.

Палубная обшивка является основной частью конструкции корпуса ПБУ, обеспечивающей работу корпуса на изгиб. Рекомендованная в [44] толщина обшивки палубы (в мм) должна быть не менее

$$\delta = 7a\sqrt{0,1P + 1}, \quad (\text{IV.2})$$

где P — палубная нагрузка; a — расстояние между элементами набора, м.

Толщина обшивки участков палубы (в мм), на которых расположены тяжелые грузы,

$$\delta_1 = \left(3,5 \frac{a}{1200}\right)\sqrt{0,2P + 1}. \quad (\text{IV.3})$$

Бимсы. Момент сопротивления (в см^3) палубных бимсов с присоединенным поясом обшивки, рекомендованный в [44], должен быть не менее

$$W = 0,0045Bbh, \quad (\text{IV.4})$$

где B — максимальный пролет бимса, измеренный от карлингса до карлингса или от карлингса до точки, находящейся посередине между концом кницы и внутренней кромкой шпангоута, м; b — расстояние между бимсами, м; h — высота нагрузки на палубу, м.

Карлингсы. Момент сопротивления (в см^3) карлингса с присоединенным пояском должен быть не менее

$$W = 4,75B^2bh, \quad (\text{IV.5})$$

где B — пролет карлингса между точками опоры, м; b — средняя ширина палубы, поддерживаемой карлингсом, м; h — высота нагрузки, м.

Момент инерции (в см^4) карлингсов должен быть не менее

$$I = 2,3WB. \quad (\text{IV.6})$$

Минимальная толщина стенок (в мм) карлингса

$$\delta_2 = 8,9 + 0,008(d/100)^2 \quad (\text{IV.7})$$

(d — высота стенки карлингса, мм).

Площадь свободного пояска (в см²) карлингса должна быть не более

$$s = d\delta/150 \quad (\text{IV.8})$$

(δ — толщина стенки карлингса, мм).

Карлингсы должны иметь подкрепление бимсовыми кншцами с надлежащими свободными поясками.

Надстройки и рубки. Размеры элементов конструкции палубных надстроек ПБУ должны соответствовать требованиям, изложенным в «Правилах» Регистра СССР. Если на надстройках и рубках предполагается установка тяжелых грузов и оборудования, то последние должны крепиться, а упомянутые элементы конструкции должны быть достаточно прочными.

Надстройки, участвующие в обеспечении продольной или поперечной прочности корпуса ПБУ, должны иметь следующие размеры связей.

Надстройки, которые подвергаются ударам волн, должны иметь толщину стенок (в мм) не менее

$$\delta = 5,5 + 5a. \quad (\text{IV.9})$$

где a — расстояние между стойками в м, моменты сопротивления (в см³) которых с присоединенным пояском обшивки, равным a , должны быть не менее

$$W = 100aH^2 \quad (\text{IV.10})$$

(H — высота надстройки, м).

Надстройки, не подвергающиеся ударам волн, рассчитываются в соответствии с местными нагрузками. Поэтому палубы их должны выдерживать нагрузки, указанные в § 3, а стенки должны выдерживать давление ветра 2500 Па.

Материалы, используемые при постройке корпуса ПБУ, должны удовлетворять требованиям «Правил классификации и постройки стальных судов». Для корпусов отечественных ПБУ обычно применяется малоуглеродистая сталь 09Г2 с пределом текучести $\sigma_T = 300$ МПа. На основании опыта проектирования и литературных данных при проектировании корпусов самоподъемных ПБУ назначаются следующие допускаемые напряжения. Когда учитываются только собственные веса конструкции и оборудования, принимаются:

0,6 σ_T — для растягивающих и сжимающих напряжений, а также для напряжений при изгибе,

0,4 σ_T — для напряжений сдвига.

Когда кроме собственного веса учитываются также максимальные ветер и волнение:

0,8 σ_T — для напряжений растяжения, сжатия и изгиба;

0,54 σ_B — для напряжений сдвига

(σ_T — предел текучести; σ_B — предел прочности стали).

ОПОРНЫЕ КОЛОННЫ ПБУ

§ 1. КОНСТРУКЦИИ ОПОРНЫХ КОЛОНН
И ИХ РАСЧЕТ НА ОБЩУЮ ПРОЧНОСТЬ

Опорные колонны являются одним из основных элементов плавучих буровых установок. От числа колонн и их конструкции зависят жесткость и прочность сооружения, его надежность. Число опорных колонн определяется при выборе типа ПБУ. Строящиеся в последние годы самоподъемные плавучие буровые установки имеют три или четыре опорные колонны. Известны ПБУ и с большим числом опорных колонн (5, 6, 8 и даже 14 колонн). Это в основном устаревшие ПБУ, построенные в пятидесятых годах. Большое число опорных колонн объясняется отсутствием в то время надежных конструкций подъемников. В настоящее время такие подъемники созданы и это позволило уменьшить число опорных колонн до минимума.

Конструкция колонн должна обеспечивать:

в рабочем положении (на колоннах) необходимую жесткость и прочность сооружения при действии на него нагрузок от ветра, волн и течения или сейсмической нагрузки;

в транспортном положении (на плаву) прочность колонн при действии ветровых и инерционных нагрузок от качки ПБУ на волнении.

На плавучих буровых установках применяются колонны двух типов: сплошнотеленчатые в основном круглого сечения (рис. 28) и решетчатые (ферменные) трех- и четырехгранной формы (рис. 29).

С точки зрения технологии изготов-

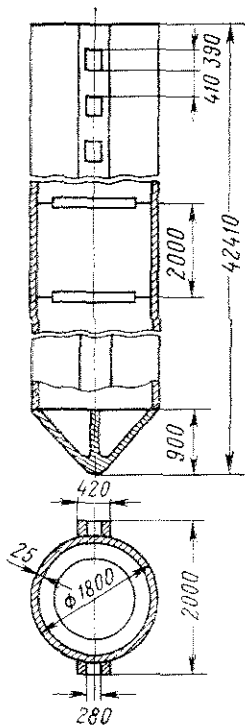


Рис. 28. Опорная колонна ПБУ «Алшерон»

ления целесообразно применение круглых сплошностенчатых колонн, собираемых из отдельных секций. Эти колонны широко применяются на установках, спроектированных для акваторий с глубинами до 30—40 м. Для ПБУ, работающих на глубоководных акваториях, необходимы колонны большого диаметра ($d > 3,0$ м). Применение их нецелесообразно из-за сильного возрастания веса колонн и действующей на них волновой нагрузки, особенно ее инерционной составляющей. Поэтому на глубинах моря более 40 м работают в основном ПБУ с колоннами решетчатой конструкции. Хотя эти колонны весьма трудоемки в изготовлении, их несомненным преимуществом является большая жесткость.

Выбор конструкции колонны тесно связан с типом подъемника. Колонны и подъемник обычно проектируют совместно и этот узел ПБУ называют подъемным устройством. Число и конструкция реек — основных элементов колонны, служащих для восприятия вертикальных нагрузок от подъемника, — определяют конструкцию подъемника и наоборот. Для сплошностенчатых круглых колонн наиболее распространены рейки закрытого типа, примененные на ПБУ «Апшерон» и «Азербайджан». Иногда функцию рейки выполняет вертикальный ряд отверстий в самой колонне (рис. 30). Для сплошностенчатых колонн прямоугольного сечения применяются рейки открытого типа. В решетчатых колоннах рейки конструктивно объединены с вертикальными угловыми элементами фермы. Известны конструкции колонн, в которых рейки имеются не по всем углам, а только по двум. Для решетчатых колонн, работающих с гидравлическими подъемниками, наиболее распространены рейки коробчатого сечения (см. рис. 29), использованные и на ПБУ «Баки». В решетчатых колоннах, работающих с механическими подъемниками, применяются рейки нескольких типов (рис. 30).

При проектировании колонн большое значение имеет выбор конструкции ее нижней опорной части. Колонна заканчивается опорным башмаком (пятой), площадь которого определяется из условия обеспечения оптимального давления на грунт. Применение башмаков, размеры которых превышают поперечные размеры колонны, нежелательно, так как в транспортном положении они выступают под корпусом ПБУ, увеличивая ее осадку и затрудняя движение по фарватеру. На некоторых ПБУ шахты для колонн заканчиваются снизу специальными расширениями (колодцами) для утапливания в них башмаков. Но это решение не нашло широкого применения из-за сложности конструкции корпуса в местах расположения колонн. В настоящее время большинство ПБУ имеют опорные башмаки, не выступающие за габаритные размеры колонн.

В нижней части решетчатой колонны, над башмаком, иногда делается баллон, высота которого должна быть не меньше

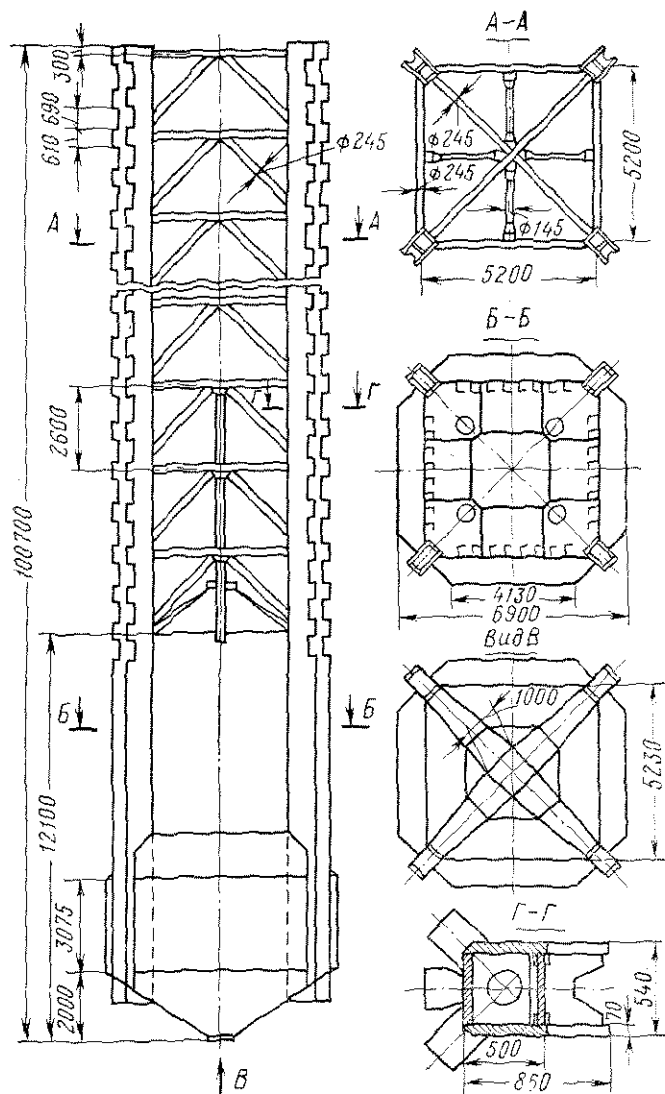


Рис. 29. Опорная колонна ПБУ «Бакы»

высоты корпуса ПБУ. В транспортном положении баллоны входят в шахты, увеличивая площадь ватерлинии и повышая тем самым остойчивость ПБУ. Баллон имеет клапан для заполнения его водой при спуске колонн. Это обеспечивает лучшую устойчивость сооружения в рабочем положении. После подъема опорных колонн в транспортное положение баллоны продуваются.

Для ликвидации сил присоса опорных колонн к грунту во время их подъема необходимо обеспечить свободный приток воды под опорные башмаки. Для этого в них делается несколько отверстий, которые соединяются трубопроводом, находящимся внутри баллона. Трубопровод заканчивается гуськом, который поднят над баллоном на высоту, исключающую попадание в него донного ила. Чтобы исключить попадание ила или слабого грунта в отверстия, башмаки закрываются автоматическими клапанами.

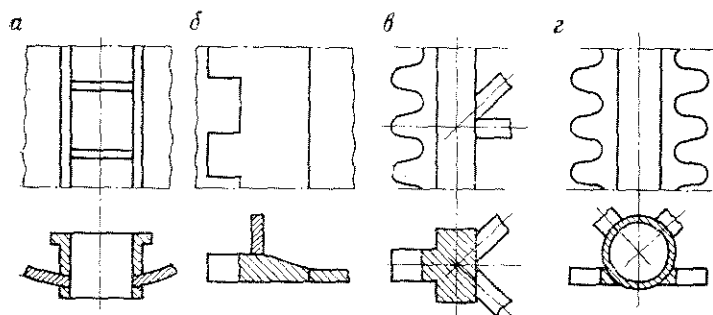


Рис. 30. Конструкция ресс:

а и *б* — для колонн круглого и прямоугольного сечения, работающих с гидравлическими подъемниками; *в* и *г* — для решетчатых колонн, работающих с механическими подъемниками

Во время спуска колонны клапан, имеющий большую опорную поверхность, дойдя до слабого грунта, под действием его давления поднимается, закрывая отверстие. Дальнейшее погружение колонны в грунт происходит при закрытом клапане. При подъеме колонны под опорной плитой образуется свободный объем и клапан под действием собственного веса опускается, открывая отверстие.

В некоторых случаях для облегчения выдергивания колонн из грунта на них устанавливают систему принудительной подачи воды под башмак. Система состоит из нескольких насадок, расположенных на опорной пяте, соединенных с трубопроводом, проложенным вдоль колонны и имеющим ряд отверстий для подсоединения его к нагнетательному трубопроводу на ПБУ. Эта же система может быть использована для размыва слабого поверхностного слоя при установке ПБУ на грунт.

Опорные колонны рассчитывают для двух положений. В транспортном положении наиболее нагруженным является участок колонны, находящийся в контакте с верхним опорным поясом (рис. 31). Расчетными являются нагрузки от собственного веса колонны, ветрового давления на нее и инерционные нагрузки от качки ПБУ при волнении (см. гл. II). В рабочем

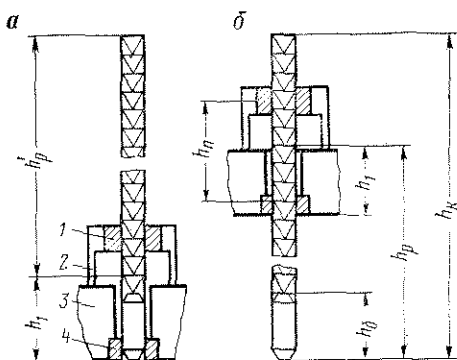
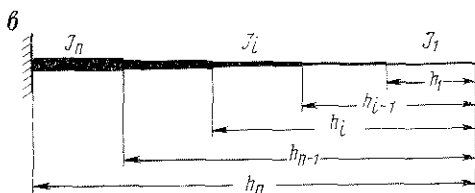


Рис. 31. Схема закрепления опорной колонны:

a — в транспортном положении; *b* — в рабочем положении; *в* — расчетная схема для определения $J_{пр}$ для сплошностенчатых колонн; 1 — верхний опорный пояс; 2 — портал подъемника; 3 — корпус ПБУ; 4 — нижний опорный пояс



положении наиболее нагруженным является участок колонны, находящийся в контакте с нижним опорным поясом. Расчетные нагрузки определяют в гидротехническом расчете ПБУ (см. гл. III). В обоих случаях суммарная нагрузка на колонну может быть задана изгибающим моментом и приложенной вне центра вертикальной силой.

Наиболее нагруженные сечения находятся в верхней и нижней частях колонны. Средняя по высоте часть колонны менее нагружена и может быть несколько облегчена. Необходимые для этого проверочные расчеты должны быть сделаны не только для максимальных расчетных нагрузок, приложенных в соответствующих сечениях, но и для случаев, когда ПБУ устанавливается на глубинах моря меньших, чем расчетные. При этом нагрузки на колонны уменьшаются, а наиболее нагруженное сечение сместится к середине колонны. Если предполагается возможность частичного опускания колонн в транспортном положении (для отстоя во время шторма), необходимо сделать соответствующие расчеты для нижней части колонны.

Многообразие конструкций колонн и узлов их закрепления в корпусе ПБУ не позволяет дать общую методику их расчета. Колонны должны рассчитываться на поперечный изгиб и на действие вертикальной нагрузки.

Сплошностенчатые колонны рассчитываются по формуле

$$\sigma = V \left(\frac{1}{F} + \frac{e}{W} \right) + M_{из} \frac{1}{W} \leq [\sigma], \quad (V.1)$$

где V и $M_{из}$ — вертикальная нагрузка и изгибающий момент, действующие на колонну; F и W — площадь и момент сопротивления поперечного сечения колонны; e — эксцентриситет точки приложения вертикальной нагрузки; определяется в зависимости от конструкции подъемника.

Проверяется общая устойчивость колонны по формуле

$$\sigma < \sigma_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{пр}}{Fh_p^2}. \quad (V.2)$$

Кроме того, для круглых колонн проверяется устойчивость стенки обечайки [38]

$$\sigma < \sigma_{кр} = 0,18 \frac{E\delta}{R_{ср}}. \quad (V.3)$$

Здесь E — модуль упругости материала колонны; $R_{ср}$ и δ — средний радиус и толщина стенки круглой колонны; F и $I_{пр}$ — площадь и приведенный момент инерции поперечного сечения колонны; h_p — расчетная длина колонны.

Максимальные напряжения на участке контакта круглой колонны с опорными поясами определяются по формуле [38]

$$\sigma_{max} = 0,591 \sqrt{\frac{M_{из}E(D_2 - D_1)}{h_n D_1 D_2 \delta_1}}, \quad (V.4)$$

где h_n — расстояние между серединами опорных поясов; D_1 и D_2 — соответственно минимальный диаметр опорной колонны и максимальный диаметр отверстия в опорном поясе, определенные с учетом принятых допусков на изготовление; δ_1 — ширина участка контакта, обычно принимается $\delta_1 = \delta$.

Рейка колонны проверяется на срез и на смятие по опорной поверхности. Проверяется также прочность сварных швов, соединяющих рейки с обечайкой.

При проектировании колонн и всей ПБУ в целом большое значение имеет выбор материала для опорных колонн. Снижение веса колонн при изготовлении их из высококачественных хорошо свариваемых сталей с высоким пределом текучести позволяет уменьшить размеры корпуса ПБУ, улучшить ее устойчивость.

При выборе марки стали нужно учитывать, что колонна должна быть не только достаточно прочной, но и иметь необходимую жесткость. Для сплошностенчатых колонн основным критерием для назначения размеров колонны является ее жесткость. Выбираемые по этому критерию размеры колонны дают возможность обеспечить ее прочность, применяя стали с пределом текучести примерно 400 МПа. Жесткость решетчатой колонны обеспечивается увеличением размеров колонны в пла-

не (расстояния между вертикальными угловыми элементами), а не утолщением ее элементов. Для обеспечения прочности решетчатых колонн целесообразно использовать высокопрочные стали с пределом текучести до 700 МПа.

Допускаемые напряжения при расчете колонн принимаются: на растяжение, сжатие и изгиб $[\sigma]=0,8 \sigma_T$, на кручение и срез $[\sigma]=0,5 \sigma_T$.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОПОРНЫХ КОЛОНН

Знание жесткости опорной колонны необходимо при определении периодов собственных колебаний ПБУ в рабочем положении и периодов собственных колебаний опорных колонн в транспортном положении. Жесткость колонн определяется как произведение приведенного момента инерции колонны на модуль упругости ее материала.

Сплошностенчатые колонны различного типа имеют, как правило, переменную по длине площадь сечения и, следовательно, переменный момент инерции сечения. В колоннах решетчатого типа меняются площади сечений отдельных элементов. Кроме того, колонны этого типа имеют на нижнем конце баллон. Расчеты периодов собственных колебаний достаточно сложны и вводить в них несколько параметров жесткости, соответствующих различным участкам по длине колонны, нецелесообразно. Поэтому в расчетах используется приведенная жесткость колонны, равная жесткости эквивалентной балки, которая, имея одинаковые с колонной условия закрепления и нагрузку, получит одинаковую с ней деформацию.

Для определения жесткости колонны в рабочем положении в соответствии с расчетной схемой ПБУ принимается, что колонна и эквивалентная ей балка имеют жесткое закрепление на верхнем конце (закрепление колонны в корпусе ПБУ) и нагружены единичными горизонтальными силами на нижнем конце (пята колонны, опирающаяся на грунт). При расчете жесткости колонны в транспортном положении принимается, что колонна и эквивалентная ей балка жестко закреплены нижними концами и нагружены единичными горизонтальными силами на верхних концах (рис. 31). В обоих случаях жесткость эквивалентной балки определяется из условия равенства прогибов консольных концов колонны и эквивалентной балки.

За расчетную длину колонны (эквивалентной балки) принимается расстояние от ее свободного конца до середины расстояния между опорными поясами. Обозначив расчетную длину h_p' — для транспортного положения и h_p — для рабочего положения, находим

$$h_p' = h_R - h_1, \quad h_p = h' + h_1, \quad (V.5)$$

где h_n — полная длина колонны (рис. 31); h_1 — расстояние от дна корпуса до середины расстояния между опорными поясами; $h_1 = 0,5 h_n + h_n'$; h' — длина части колонны, опущенной ниже дна корпуса; h_n — расстояние между серединами опорных поясов; h_n' — расстояние от дна корпуса до середины нижнего опорного пояса.

Наиболее просто задача определения приведенной жесткости решается для сплошнотенчатых колонн. Колонна разбивается на n участков с постоянными сечениями. Определяют длину каждого участка, осевой момент инерции сечения I_i (i — номер участка отсчитывается от свободного конца колонны). Рассчитывают прогиб свободного конца колонны, который приравнивается к прогибу эквивалентной балки. Решив полученное уравнение относительно приведенного момента инерции эквивалентной балки $I_{пр}$, получаем следующую расчетную формулу:

$$I_{пр} = \frac{I_n}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^3 (\beta_i - \beta_{i+1})}, \quad \alpha_i = h_i/h_n, \quad \beta_i = I_n/I_i, \quad (V.6)$$

где I_n — момент инерции сечения закрепленного участка колонны; h_n — расчетная длина колонны: в положении на плаву $h_n = h_p'$, в положении на колоннах $h_n = h_p$; h_i — расстояние от свободного конца колонны до начала i -го участка.

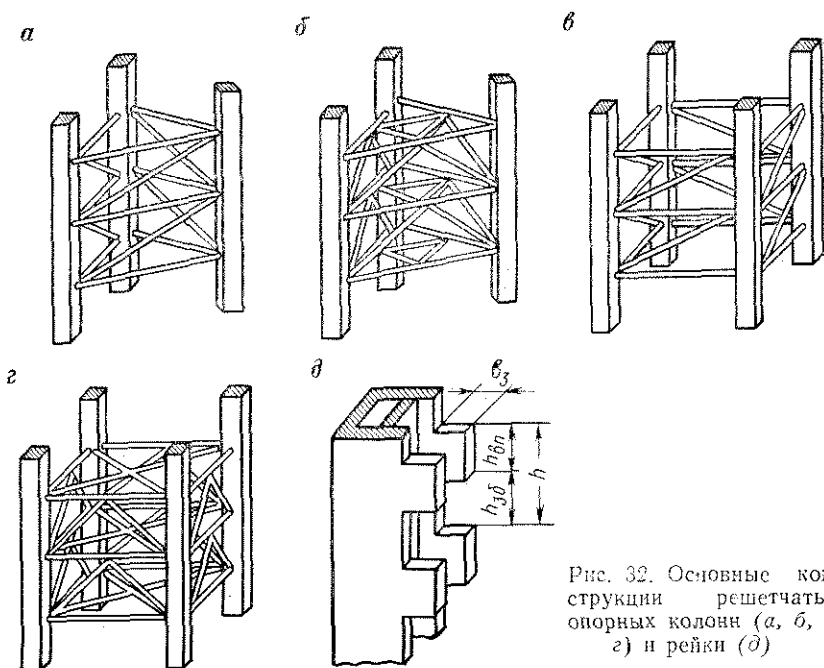


Рис. 32. Основные конструкции решетчатых опорных колонн (а, б, в, з) и рейки (д)

При вычислении приведенной жесткости колонн решетчатой конструкции решается аналогичная задача. По методу Мора определяют прогиб пространственной консольной фермы, нагруженной единичной силой на свободном конце. Приравняв прогиб фермы прогибу эквивалентной балки и решив уравнение, получают приведенный момент инерции решетчатой колонны. Расчетные формулы получены для определения приведенных моментов инерции основных типов решетчатых опорных колонн (рис. 32) в транспортном (I'_{np}) и рабочем (I_{np}) положениях [15].

Рис. 32, а

$$\left. \begin{aligned} I'_{np} &= \frac{(n' + n'_0)^3 a^2}{6 \sum_{i=1}^{n'} \frac{i^2 - i + 0,33}{F_p^i} + 2n' \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_R} \right)} \\ I_{np} &= \frac{(n + n_0)^3 a^2}{6 \sum_{i=1}^n \frac{(n_0 + i)^2 - n_0 - i + 0,33}{F_p^i} + 2n \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_R} \right)} \end{aligned} \right\} \text{ (V.7)}$$

Рис. 32, б

$$\left. \begin{aligned} I'_{np} &= \frac{(n' + n'_0)^3 a^2}{6 \sum_{i=1}^{n'} \frac{(i-1)^2}{F_p^i} + 4n' \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{F_R} \right)} \\ I_{np} &= \frac{(n + n_0)^3 a^2}{6 \sum_{i=1}^{n'} \frac{i^2 - i + 0,5}{F_p^i} + 1,5n' \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_R} \right)} \end{aligned} \right\} \text{ (V.8)}$$

Рис. 32, в

$$\left. \begin{aligned} I'_{np} &= \frac{(n' + n'_0) a^2}{3 \sum_{i=1}^{n'} \frac{i^2 - i + 0,5}{F_p^i} + 1,5n' \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_R} \right)} \\ I_{np} &= \frac{(n + n_0)^3 a^2}{3 \sum_{i=1}^n \frac{(n_0 + i)^2 - n_0 - i + 0,5}{F_p^2} + 1,5n \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_R} \right)} \end{aligned} \right\} \text{ (V.9)}$$

$$\left. \begin{aligned}
 I'_{np} &= \frac{(n' + n'_0)^3 a^2}{3 \sum_{i=1}^{n'} \frac{(i-1)^2}{F_p^i} + 3n' \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_T + 0,5F_D} \right)} \\
 I_{np} &= \frac{(n + n_0)^3 a^2}{3 \sum_{i=1}^n \frac{(n_0 + i)^2}{F_p^i} + 3n \left(\frac{\sec^3 \varphi}{F_H} + \frac{\operatorname{tg}^3 \varphi}{F_T + 0,5F_D} \right)}
 \end{aligned} \right\} (V.10)$$

$$\text{при } h_1 \geq h_0 \quad n' = \frac{h'_p}{h_0} \text{ и } n'_0 = 0$$

$$\text{при } h_1 < h_0 \quad n' = \frac{h_k - h_0}{h_0} \text{ и } n'_0 = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

$$n = \frac{h_p - h_0}{h_0}; \quad n_0 = \frac{h_0}{h_0}.$$

Здесь i — номер панели колонны, отсчитываемый в транспортном положении от верхнего конца колонны, в рабочем положении — от баллона колонны; h_0 — высота баллона; h_1 — высота панели колонны; a — расстояние между центрами тяжести площадей сечений реек; F_p^i — приведенная площадь сечения рейки (вертикального стержня колонны в i -й панели); F_T ; F_H ; F_D — средние площади сечений соответственно горизонтальных, наклонных и диагональных элементов колонны; φ — угол между осями реек и наклонных элементов колонны.

Как уже отмечалось выше, площади поперечных сечений всех элементов меняются по длине колонны. Наиболее сильно на деформацию колонны влияет изменение площади поперечного сечения рейки. Поэтому в формулы (V.7) — (V.10) введена переменная величина площади F_p^i . Изменение площадей поперечных сечений других элементов сказывается незначительно, что дает возможность упростить расчетные формулы, введя средние значения площадей.

Площади поперечных сечений по зубу и впадине рейки значительно разнятся (рис. 32, д). В расчетные формулы введена приведенная площадь рейки, равная площади поперечного сечения эквивалентного ей стержня. Приведенная площадь рейки определяется из условия равенства деформаций участка рейки и эквивалентного стержня на длине одного шага рейки.

При $h_{зб} > 2b$

$$F_p^i = \frac{F_{вп}^i (h_{зб} + h_{вп})}{h_{вп} + (h_{зб} - 2b) \frac{\alpha_i}{\alpha_i + 1} + 2b\alpha_i \ln \left(1 + \frac{1}{\alpha_i} \right)}$$

При $h_{зб} \leq 2b$

$$F_p^i = \frac{F_{вп}^i (h_{зб} + h_{вп})}{h_{вп} + 2b\alpha_i \ln \left(1 + \frac{h_{зб}}{2b\alpha_i} \right)}$$

(V.11)

$$\alpha_i = \frac{F_{вп}^i}{F_{зб}^i - F_{вп}^i}$$

Здесь $F_{зб}^i$ и $F_{вп}^i$ — площадь поперечных сечений по зубу и впадине рейки для i -ой панели колонны; $h_{зб}$ и b — высота и ширина зуба рейки; $h_{вп}$ — высота впадины рейки (рис. 32, ∂).

При составлении расчетных формул для определения I_n^i и $I_{пр}$ должна была бы учитываться деформация баллона. Площадь поперечного сечения баллона значительно превышает суммарную площадь реек. Анализ показал, что для принятой расчетной схемы деформация баллона невелика и ее влиянием на прогиб колонны можно пренебречь.

При выводе расчетных формул (V.7) — (V.10) прогиб колонны под действием единичной силы определяли по методу Мора для ферменных конструкций, т.е. было принято, что все стержни колонны шарнирно соединены в узлах. Анализ известных конструкций колонны показал, что рейки колонны имеют площадь и жесткость поперечного сечения на порядок больше, чем другие элементы. Необходимо было проверить, насколько оправдано принятое допущение для такой специфичной конструкции.

Для исследования этого вопроса разработана методика расчета четырехгранной колонны (рис. 32, $з$). Было принято, что рейки колонны могут работать на растяжение — сжатие и на изгиб, другие же элементы работают только на растяжение — сжатие.

Учитывая симметричность конструкции колонны и отсутствие усилий в горизонтальных и наклонных элементах, расположенных в плоскостях, перпендикулярных к действующей нагрузке, заменяем пространственную конструкцию двумя плоскими конструкциями, расположенными в плоскостях, параллельных действующей нагрузке. Чтобы учесть влияние диагональных элементов, были составлены уравнения совместности деформаций горизонтальных и диагональных стержней, лежащих в одной плоскости. Для упрощения расчетов площади се-

чения всех элементов и момент инерции сечения рейки I_p были приняты постоянными по длине колонны.

Составив уравнения сил и деформаций для плоской конструкции и решив их совместно, определяем прогиб конструкции; приравняв его к прогибу эквивалентной балки, получаем новую расчетную формулу для определения приведенного момента инерции сечения колонны

$$I_{np} = \frac{(F_p a^2 + 4I_p) n^2}{n^2 + 1,5n - 1,0 + \frac{1}{6n} + \left(3 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{F_p}{F_{II}} \sec^3 \varphi + \frac{F_p}{F_r + 0,5F_d} \operatorname{tg}^3 \varphi\right)}, \quad (V.12)$$

Сопоставим формулы (V.10) и (V.12), полученные для четырехгранной колонны (рис. 32, з) с учетом жесткости реек при работе на изгиб и без учета. Во второй формуле отсутствует член « $4 I_p$ », в связи с чем уменьшается расчетный момент инерции колонны примерно на один процент. Пренебрегая этим членом, мы компенсируем принятое допущение о недеформируемости баллона.

Сопоставительные расчеты показали, что величина I_{np} , определенная по формуле (V.12) при $I_p=0$, превышает значения, вычисленные по формуле (V.10), не более чем на 3% при $n=8$; на 0,9% при $n=16$; на 0,3% при $n=32$. Так как решетчатые колонны имеют в большинстве случаев более двадцати панелей ($n>20$), этой погрешностью можно пренебречь.

Следовательно, при расчете жесткости решетчатых колонн можно рассматривать их как пространственные фермы. Формулы (V.7) — (V.10) дают достаточно точные значения приведенного момента инерции сечения колонны.

Ниже приведены данные расчета момента инерции опорной колонны ПБУ «Баку» для рабочего положения (схема колонны показана на рис. 32, з).

Исходные данные к расчету: $h'=84,5$ м; $h_{II}=12,5$ м; $h'_n=1,75$ м; $h_6=12,1$ м; $h_0=2,6$ м; $h_{вп}=0,69$ м; $h_{з6}=1,61$ м; $b=0,35$ м; $a=5,2$ м; при $i=1 \div 12$ $F_{з6}=1510$ см², $F_{вп}=1048$ см², $F_p=1130$ см²; при $i=13 \div 31$ $F_{з6}=1590$ см², $F_{вп}=1128$ см², $F_p=1215$ см².

Горизонтальные элементы (среднее значение) — труба 245×18,5 мм — $F_r=132$ см²; наклонные элементы (среднее значение) — труба 245×17,5 мм — $F_{II}=125$ см²; диагональные элементы (среднее значение) — труба 245×19,8 мм — $F_d=140$ см². Определяем $h_1=8,0$ м; $h_p=92,5$ м; $n \approx 31$; $n_0 \approx 5$. Приведенный момент инерции колонны $I_{np}=2,81 \cdot 10^8$ см⁴.

§ 3. РАСЧЕТ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЧЕТЫРЕХГРАННОЙ РЕШЕТЧАТОЙ ОПОРНОЙ КОЛОННЫ

После установки ПБУ на точку бурения опорные колонны закрепляют в корпусе. Для этой цели служат зажимные уст-

ройства, с помощью которых выбираются зазоры между торцовыми поверхностями зубьев реек колонны и опорными поясами — жесткими элементами конструкции, воспринимающими нагрузку от колонн. Зажимные устройства выполняются достаточно длинными, чтобы в контакте с ними находилось несколько зубьев рейки. Этим достигается уменьшение сминающего давления на зубья и облегчаются условия работы колонны.

Расчетным является самое верхнее положение корпуса на опорных колоннах, которое соответствует работе установки в наиболее тяжелых условиях, когда на колонну действует максимальный изгибающий момент. Рассматривается работа только верхней части колонны — от верхнего конца до уровня, расположенного на несколько панелей ниже нижнего опорного пояса. Эта часть колонны деформируется под действием приложенной к ней местной нагрузки. Как показали расчеты, влиянием нижней части колонны можно пренебречь.

Как уже отмечалось выше, жесткость реек при работе на изгиб на порядок выше жесткости остальных элементов колонны, и этот фактор должен быть учтен в расчете. Принимается, что все элементы колонны работают на растяжение — сжатие, рейки колонны работают еще и на изгиб.

Методика расчета местной прочности колонны строится следующим образом. Сначала отдельно составляют уравнения сил и деформаций для стержневой системы и уравнения изгибающих моментов и прогибов для реек. Из совместного решения этих уравнений определяют величины прогибов реек. Затем рассчитывают деформации стержней и действующие в них усилия; находят нагрузку на рейки и изгибающие моменты в их сечениях. Расчетные уравнения в каждом конкретном случае зависят от конструкции колонны. Объем данной работы не позволяет рассмотреть все типы колонн и поэтому ниже приводится методика расчета только одной конструкции — четырехгранной решетчатой колонны (рис. 33), которая применена на ПБУ «Бакы».

Изгибающий момент, действующий на колонну, воспринимается опорными поясами, расстояние между которыми обычно кратно высоте панели колонны. Усилие, передаваемое от опорных поясов через зажимные элементы на один зуб рейки,

$$P = \frac{M_{из}}{2m_1 h_{п}}, \quad (V.13)$$

где $M_{из}$ — максимальный изгибающий момент, действующий на колонну, определяется в гидротехническом расчете; m_1 — число зубьев рейки, находящихся в контакте с зажимными элементами; $h_{п}$ — расстояние между опорными поясами.

Так как плоскости контактов реек с зажимными элементами развернуты на 45° от направления действия нагрузки, сила P раскладывается на две составляющие, лежащие в плоскости

внешней нагрузки и в плоскости, ей перпендикулярной. Рассматриваются два варианта: I — нагрузка передается через два зуба и II — нагрузка передается через три зуба (на рис. 33 для варианта I сила $P_3=0$).

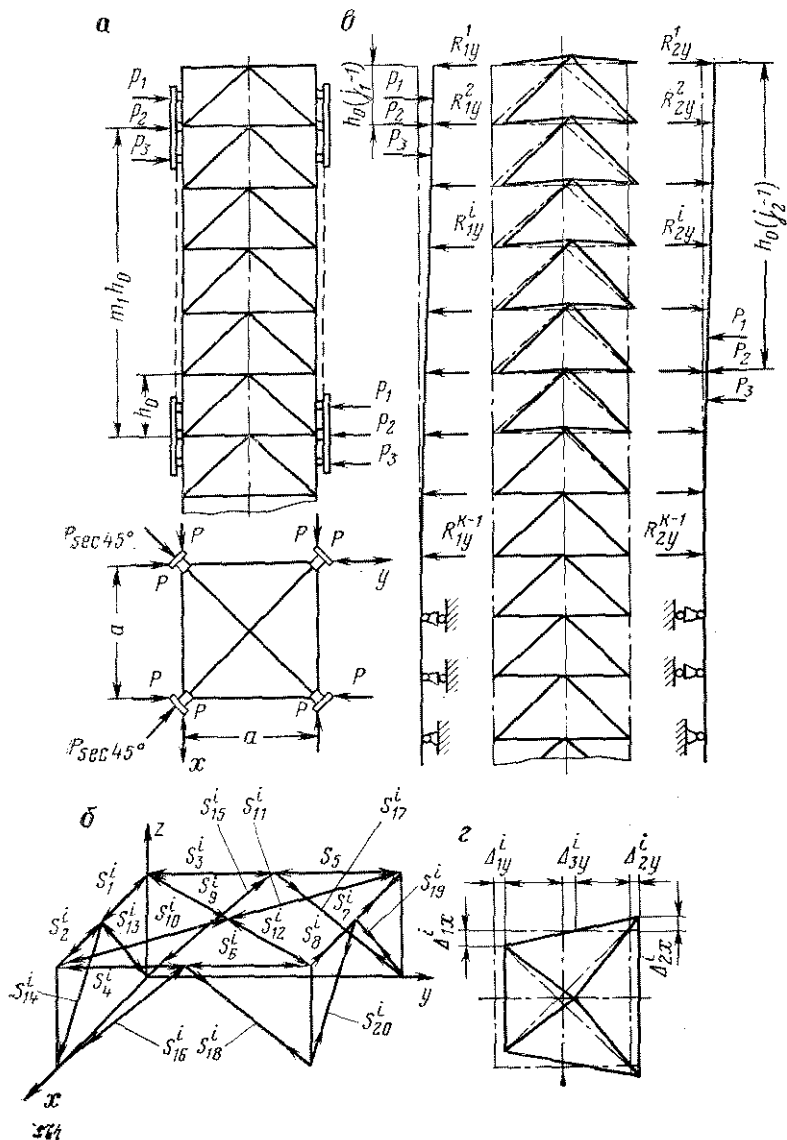


Рис. 33. Схема для расчета местной прочности опорной колонны ПБУ «Бакы»:

a — схема нагрузок на колонну; *б* — обозначение стержней решетки; *в* и *г* — схемы деформаций

Усилия в стержнях колонны обозначаются через S_j^i , где j — номер стержня в панели, $j=1 \div 20$; i — номер панели колонны, в которой расположен данный стержень, считается от верхнего конца колонны. В зависимости от принятой схемы деформации определены направления усилий в стержнях. Составим уравнения статики и с учетом симметрии конструкции получаем следующие уравнения деформации стержней.

$$\left. \begin{aligned}
 S_1^i &= S_2^i = \Delta_{1x}^i \alpha_r && \text{Сжатие} \\
 S_3^i &= S_4^i = 0,5 \delta_y^i \alpha_r - (\Delta_y^{i+1} - \Delta_y^i) \alpha_1 && \text{Сжатие} \\
 S_5^i &= S_6^i = 0,5 \delta_y^i \alpha_r + (\Delta_y^{i+1} - \Delta_y^i) \alpha_1 && \text{Сжатие} \\
 S_7^i &= S_8^i = \Delta_{2x}^i \alpha_r && \text{Растяжение} \\
 S_9^i &= S_{10}^i = S_{11}^i = S_{12}^i = && \text{Сжатие} \\
 &= 0,5 (\delta_x^i + \delta_y^i) \alpha_d \cos 45^\circ && \\
 S_{13}^i &= S_{14}^i = S_{19}^i = S_{20}^i = 0 && \\
 S_{15}^i &= S_{16}^i = (\Delta_y^{i+1} - \Delta_y^i) \alpha_1 \sec 45^\circ && \text{Сжатие} \\
 S_{17}^i &= S_{18}^i = (\Delta_y^{i+1} - \Delta_y^i) \alpha_1 \sec 45^\circ && \text{Растяжение}
 \end{aligned} \right\} \quad (V.14)$$

Здесь

$$\Delta_x^i = \Delta_{1x}^i + \Delta_{2x}^i; \quad \Delta_y^i = \Delta_{1y}^i + \Delta_{2y}^i;$$

$$\delta_x^i = \Delta_{1x}^i - \Delta_{2x}^i; \quad \delta_y^i = \Delta_{1y}^i - \Delta_{2y}^i;$$

$$\alpha_r = \frac{2EF_r}{a}; \quad \alpha_d = \frac{2EF_d}{a} \cos 45^\circ;$$

$$\alpha_H = \frac{2EF_H}{a} \cos \varphi; \quad \alpha_1 = \frac{\alpha_r \alpha_H \cos^2 \varphi}{2(\alpha_r + \alpha_H \cos^2 \varphi)};$$

F_r , F_d , F_H — площади сечений горизонтальных, диагональных и наклонных стержней; a — расстояние между центрами тяжести площади сечений реек колонны; E — модуль упругости.

Составляем уравнения деформации рейки. В нижней недеформируемой части колонны опорами рейки служат узлы соединения ее со стержневой системой. В верхней деформируемой части колонны узлы соединения со стержневой системой смещаются при действии внешней нагрузки. Поэтому в верхней части колонны опоры рейки заменены соответствующими реактивными силами. Таким образом, рейка должна рассматриваться как многопролетная балка с шарнирно-неподвижными опорами (в нижней части колонны) и с консолью (в верхней части колонны). Разложив деформацию рейки на две составляющие (в плоскостях xoz и $yo z$), определяем прогиб рейки под действием внешней нагрузки и реактивных сил.

Рейка I, плоскость xoz

$$\left. \begin{aligned}
 & \Delta_{1x}^i \alpha_p = P\beta_{01}^i - \sum_{j=1}^k \beta_j^i R_{1x}^j, \\
 \text{плоскость } yoz & \\
 & \Delta_{1y}^i \alpha_p = P\beta_{01}^i - \sum_{j=1}^k \beta_j^i R_{1y}^j; \\
 \text{рейка II, плоскость } xoz & \\
 & \Delta_{2x}^i \alpha_p = -P\beta_{02}^i + \sum_{j=1}^k \beta_j^i R_{2x}^j, \\
 \text{плоскость } yoz & \\
 & \Delta_{2y}^i \alpha_p = -P\beta_{02}^i + \sum_{j=1}^k \beta_j^i R_{2y}^j.
 \end{aligned} \right\} \quad (V.15)$$

Здесь $\alpha_p = \frac{EI_p}{h_0^3}$ — характеристика изгибной жесткости рейки; $R_{1x}^j, R_{1y}^j, R_{2x}^j, R_{2y}^j$ — реактивные силы, действующие на рейки в j -х узлах (на расстоянии $h_0(j-1)$ от верха колонны) в плоскостях xoz и $yoiz$; $\Delta_{1x}^i, \Delta_{1y}^i, \Delta_{2x}^i, \Delta_{2y}^i$ — прогибы i -х узлов (на расстоянии $h_0(i-1)$ от верха колонны) реек колонны в плоскостях xoz и $yoiz$, положительные значения прогибов соответствуют схеме деформации, показанной на рис. 33; $\beta_{01}^i, \beta_{02}^i$ — безразмерные коэффициенты для реек, зависящие от координат точек приложения внешних нагрузок и от положения сечения, прогиб которого определяется; β_j^i — безразмерные коэффициенты, зависящие от координаты приложения реактивной силы R^j и от положения сечения, прогиб которого определяется; k — число деформируемых панелей колонны; h_0 — высота панели колонны.

Из уравнений статики находим зависимости между реактивными силами и усилиями в стержнях.

$$\left. \begin{aligned}
 R_{1y}^i &= S_3^i + S_9^i \cos 45^\circ + S_{15}^{i-1} \cos \varphi \\
 R_{1x}^i &= S_1^i + S_9^i \cos 45^\circ \\
 R_{2y}^i &= S_5^i + S_{11}^i \cos 45^\circ - S_{17}^{i-1} \cos \varphi \\
 R_{2x}^i &= -S_7^i + S_{11}^i \cos 45^\circ
 \end{aligned} \right\} \quad (V.16)$$

Определяем величины:

$$\left. \begin{aligned}
 R_x^i &= R_{1x}^i + R_{2x}^i = \delta_x^i \alpha_r + 0,5 (\delta_x^i + \delta_y^i) \alpha_{\text{д}} \\
 R_y^i &= R_{1y}^i + R_{2y}^i = \delta_y^i \alpha_r + 0,5 (\delta_x^i + \delta_y^i) \alpha_{\text{д}} \\
 R_y^i - R_x^i &= (\delta_y^i - \delta_x^i) \alpha_r
 \end{aligned} \right\} \quad (V.17)$$

Таблица 11

| | Г вариант, нагрузка передается через два зуба рейки | |
|---------------------|---|-----------------------------|
| | A_0^i | C_0^i |
| $i < j_1 - 2$ | 0 | 0 |
| $i = j_1 - 2$ | 0,02084 | 0,02084 |
| $i = j_1 - 1$ | 0,68750 | 0,68750 |
| $i = j_1$ | 2,50000 | 2,50000 |
| $j_1 < i < j_2 - 2$ | $2(i - j_1) + 2,500$ | $2(i - j_1) + 2,500$ |
| $i = j_2 - 2$ | $2m_2 - 1,52083$ | $2m_2 - 1,47916$ |
| $i = j_2 - 1$ | $2m_2 - 0,18750$ | $2m_2 + 1,18750$ |
| $i = j_2$ | $2m_2$ | $2m_2 + 5,000$ |
| $i > j_2$ | $2m_2$ | $2(2i - j_1 - j_2) + 5,000$ |

Продолжение табл. 11

| | II вариант, нагрузка передается через три зуба рейки | |
|---------------------|--|-----------------------------|
| | A_0^i | C_0^i |
| $i < j_1 - 2$ | 0 | 0 |
| $i = j_1 - 2$ | 0,02084 | 0,02084 |
| $i = j_1 - 1$ | 0,70833 | 0,70833 |
| $i = j_1$ | 3,02084 | 3,02084 |
| $j_1 < i < j_2 - 2$ | $3(i - j_1) + 3,000$ | $3(i - j_1) + 3,000$ |
| $i = j_2 - 2$ | $3m_2 - 3,02084$ | $3m_2 - 2,97916$ |
| $i = j_2 - 1$ | $3m_2 - 0,70833$ | $3m_2 + 0,70833$ |
| $i = j_2$ | $3m_2 - 0,02084$ | $3m_2 + 6,02084$ |
| $i > j_2$ | $3m_2$ | $3(2i - j_1 - j_2) + 6,000$ |

где $\gamma_3 = a_p/a_r + a_d$; $q_3 = P/a_r + a_d$; коэффициенты C_0^i определяются по формулам, приведенным в табл. 11.

Обозначаем j_1 и j_2 номера панелей, на которые передаются нагрузки от верхнего и нижнего опорных поясов. Эти панели находятся на расстояниях $h_0(j_1 - 1)$ и $h_0(j_2 - 1)$ от верхнего конца колонны (рис. 33), $h_n = m_2 h_0 = h_0(j_2 - 1) - h_0(j_1 - 1)$, откуда $m_2 = j_2 - j_1$.

Обозначаем

$$B^i = m_2(k + 1 - i)(3k - 3i + 4,73205); \quad i = 1 \div (k - 1).$$

Коэффициенты B_1^i определяются по формулам:

$$\begin{aligned} B_1^i &= \frac{B^i}{6m_2} - 1 \quad \text{при } i = 1, \\ B_1^i &= \frac{B^i}{6m_2} \quad \text{при } i > 1. \end{aligned} \quad (\text{V.22})$$

Коэффициенты B_0^i определяются по формулам (V.23).

I — вариант (нагрузка передается через два зуба рейки)

$$\left. \begin{aligned} i > j_2 & B_0^i = \frac{1}{3} B^i \\ j_1 \leq i < j_2 & B_0^i = \frac{1}{3} [B^i - 0,5(j_2 - i)^3 - 0,5(j_2 - i - 0,5)^3] \\ i < j_1 & B_0^i = \frac{1}{3} [B^i + 0,5(j_1 - i)^3 - 0,5(j_2 - i)^3 + \\ & + 0,5(j_1 - i - 0,5)^3 - 0,5(j_2 - i - 0,5)^3] \end{aligned} \right\} \quad (\text{V.23})$$

II — вариант (нагрузка передается через три зуба рейки)

$$\left. \begin{aligned} i > j_2 & B_0^i = \frac{1}{2} B^i \\ i = j_2 & B_0^i = \frac{1}{2} B^i - 0,02084 \\ j_1 < i < j_2 & B_0^i = \frac{1}{2} [B^i - (j_2 - i)^3 - 0,5(j_2 - i)] \\ i = j_1 & B_0^i = \frac{1}{2} [B^i - (j_2 - i)^3 - 0,5(j_2 - i) + 0,04167] \\ i < j_1 & B_0^i = \frac{1}{2} [B^i - (j_2 - i)^3 + (j_1 - i)^3 - m_2] \end{aligned} \right\} \quad (\text{V.23a})$$

После решения системы уравнений определяют деформации реек $\Delta_{1x}^i, \Delta_{2x}^i, \Delta_{1y}^i, \Delta_{2y}^i$. По формулам (V.14) и (V.16) рассчитывают усилия в стержнях и реакции $R_{1x}^i, R_{2x}^i, R_{1y}^i, R_{2y}^i$,

действующие на рейки. Строят эпюры изгибающих моментов для реек в плоскостях *хоз* и *уоз*. По полученным величинам усилий в стержнях и изгибающих моментов в рейках определяют напряжения в этих элементах.

Найденные величины напряжений от поперечного изгиба реек суммируют с напряжениями в них от внецентренного сжатия под действием вертикальной нагрузки на колонны.

Глава VI

ПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПБУ И СИСТЕМЫ ИХ УПРАВЛЕНИЯ

§ 1. КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

В плавучих буровых установках самоподъемного типа подъемное устройство является одним из основных узлов в конструкции сооружения, посредством которого оно устанавливается на точку бурения и снимается с нее. При этом подъемное устройство выполняет следующие операции:

при установке ПБУ на точку бурения — спуск опорных колонн на дно моря; подъем корпуса над поверхностью воды на высоту, до которой не достают волны; задавливание колонн в грунт; приведение корпуса установки в горизонтальное положение;

при снятии ПБУ с точки бурения — спуск корпуса на воду; «выдергивание» и подъем колонн и приведение установки в походное положение.

В настоящее время наиболее распространены гидравлические и механические подъемники. В гидравлических подъемных устройствах корпус ПБУ перемещается относительно колонн и колонны перемещаются относительно корпуса с помощью силовых гидроцилиндров, взаимодействующих с колонной посредством траверса с захватными органами.

Как видно из рис. 34, гидравлическое подъемное устройство состоит из трех основных элементов — траверса 1 и 4, захватных органов (замков) 2 и силовых гидроцилиндров 3.

Принцип действия подъемника следующий. Когда подвижная траверса 1 замками введена в зацепление с опорной колонной, подъемник перемещает колонну относительно корпуса ПБУ, т. е. совершает рабочий ход. При этом поднимается или опускается корпус либо опорная колонна. Величина рабочего хода равна шагу рейки опорной колонны. После завершения рабочего хода неподвижная траверса 4 вводится в зацепление с колонной, нагрузка от веса корпуса или опорной колонны переводится на эту траверсу. Подвижная траверса выводится из зацепления с колонной и совершает возвратный ход без нагрузки — холостой ход. Затем подвижная траверса вновь вводится в зацепление с колонной, на нее переводится нагрузка, а неподвижная траверса выводится из зацепления с ко-

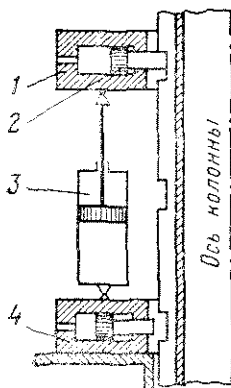


Рис. 34. Принципиальная схема гидравлического подъемного устройства ПБУ

лонной. Рабочий цикл завершен, и подъемник готов к следующему рабочему ходу.

Так как опорная колонна перемещается относительно корпуса ПБУ с помощью подвижной траверсы, последнюю называют «перемещающей», неподвижную траверсу называют «перехватной», потому что она необходима для совершения перехвата.

Гидравлические подъемники выполняются по различным конструктивным схемам. Наиболее часто встречаются подъемники с кольцевыми траверсами, охватывающими опорную колонну, и приставные, монтируемые в портале.

Подъемники с кольцевыми траверсами имеют три конструктивные разновидности: с верхней подвижной траверсой (рис. 35, а), нижней подвижной траверсой (рис. 35, б) и с плавающими траверсами (рис. 35, в). Первая и вторая конструкции состоят из подвижной траверсы 1, неподвижной траверсы 3 и силовых гидроцилиндров 2. У подъемников с нижней подвижной траверсой неподвижная траверса 3 связана с корпусом ПБУ порталом 4.

Подъемник с плавающими траверсами (рис. 35, в) имеет две траверсы 1 и 3, связанные между собой силовыми гидроцилиндрами 2. Траверсы с гидроцилиндрами расположены внутри портала 4, связанного с корпусом ПБУ.

Эти подъемники применяются главным образом в сочетании с цилиндрическими колоннами, так как в этом случае достигается более рациональное распределение напряжений в отдельных сечениях траверсы. Подъемник ПБУ «Апшерон» выполнен по схеме а, ПБУ «Азербайджан» по схеме б.

Анализируя конструкции и работу гидравлических подъемников с кольцевыми траверсами, можно отметить, что они имеют общие недостатки, которые заключаются в следующем: сложность изготовления траверс массой более 20 т при относительно сложной конфигурации детали; трудоемкость механической обработки; большой объем сварочных работ и необходимость термообработки; наличие несущего портала б и в (рис. 35), имеющего большую массу и затрудняющего доступ к основным элементам подъемника для выполнения монтажных работ и обслуживания во время эксплуатации; потеря времени на холостые ходы.

В подъемниках этого типа для обеспечения задавливания опорных колонн двойной нагрузкой грузоподъемность подъем-

ника должна быть равна половине массы полностью нагруженного корпуса. Существуют конструкции подъемников, у которых перехватывающая группа захватов также подвижна и связана с порталом подъемника через силовые гидроцилиндры равной грузоподъемности с гидроцилиндрами перемещающей группы захватов.

Ход перехватывающей группы захватов принимается обычно несколько большим шага рейки опорной колонны. Ход перемещающей группы захватов вдвое больше, чем ход перехватывающей группы.

Обычно такие подъемники выполняются в виде приставных и используются в сочетании с четырехгранными опорными колоннами пространственной конструкции, например подъемники ПБУ «Хазар», «Иль дэ Франс» и др.

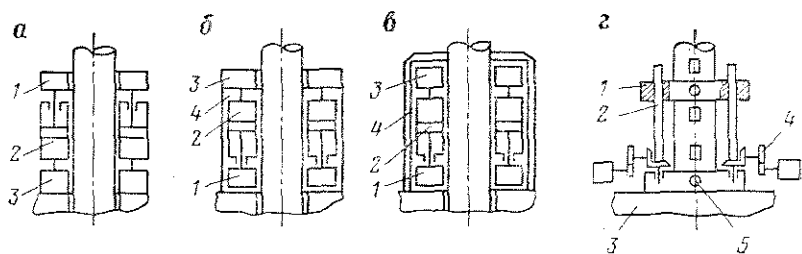


Рис. 35. Подъемники ПБУ с кольцевыми траверсами:

а — с верхней подвижной траверсой; б — с нижней подвижной траверсой; в — с плавающими траверсами; г — с верхней подвижной траверсой (с винтовым механизмом)

В таких подъемниках номинальная грузоподъемность обеспечивается при работе одной перемещающей группы захватов, а максимальная (двойная), необходимая при «задавливании» и «выдергивании» опорных колонн, — одновременной работой обеих групп захватов. В этом случае силовые гидроцилиндры обеих групп соединяются параллельно. Кроме того, наличие регулируемых по высоте перехватывающих захватов позволяет одновременно совершать рабочий ход и перехват всеми подъемниками ПБУ.

Механические подъемники выполняются двух типов: с винтовым механизмом (рис. 35, г) и с зубчатым механизмом перемещения опорных колонн. Эксплуатируемые в настоящее время самоподъемные установки с механическим подъемным устройством оснащены в основном подъемниками с зубчатой передачей. Около половины построенных в мире самоподъемных плавучих буровых установок имеет подъемники с зубчатыми механизмами. Однако несмотря на это только две американские фирмы — «Ле Турно» и «Армко» — располагают технологической оснасткой для изготовления крупномодульных

зубчатых передач — шестерен и реек. Эти фирмы комплектуют ими свои установки и поставляют другим фирмам, строящим ПБУ.

Недостатком подъемников этого типа является наличие большого числа двигателей и передаточных механизмов, а также проблема равномерного нагружения приводов. Другим недостатком следует считать сложность технологии производства — трудоемкость изготовления реек с большим модулем зуба, изготовляемого с помощью огневой резки без дополнительной механической обработки.

Механические подъемники типа «Ле Турно» или «Армко» позволяют осуществлять непрерывный подъем или спуск без потери времени на холостые ходы, как это происходит в винтовом подъемнике. Механические подъемники удобны в обслуживании и просты в эксплуатации.

Винтовые подъемники (рис. 35, з) встречаются весьма редко и применяются главным образом в конструкциях малонагруженных ПБУ, используемых для небольших глубин бурения на малых глубинах моря. Они относятся к типу подъемников с кольцевыми траверсами и каждый из них состоит из подвижной траверсы 1, винтов 2, неподвижной траверсы 3, механизма привода 4 и захватов 5. Работа подъемника аналогична описанной выше работе гидроподъемника, приведенного на рис. 35, а.

Подъемное устройство ПБУ «Апшерон» (рис. 36) состоит из четырех силовых цилиндров 1, двух кольцевых траверс 2, 3, двух пар захватов (замков) 4 и четырех упорных винтов 5. Нижняя неподвижная траверса 2 приварена к палубе корпуса; верхняя подвижная траверса 3 подвешена на силовых цилиндрах и центрируется опорной колонной 6. Силовые цилиндры и траверсы соединены в верхней части непосредственно со штоком 7, в нижней части — с помощью хвостовика 8.

Для компенсации неточностей изготовления и предупреждения заедания штоков и хвостовик соединены с траверсами посредством шаровой пяты. На внутренней цилиндрической поверхности обеих траверс предусмотрены два продольных сквозных выреза, в которые входят рейки колонны. В каждой траверсе диаметрально расположены два замка, представляющие собой подвижные цилиндры, заканчивающиеся с глухой стороны, обращенной к центру траверсы, хвостовиками прямоугольного сечения. Внутри цилиндра имеется поршень, жестко связанный с траверсой. Внутри штока предусмотрены два канала, соединяющие поршневою и штоковую полости цилиндра с гидравлической системой управления.

При поступлении масла в ту или иную полость замок перемещается, входя в зацепление (или выходя из зацепления) с рейкой. Упорные винты 5, предназначенные для разгрузки силовых цилиндров, в рабочем положении ПБУ нижними кон-

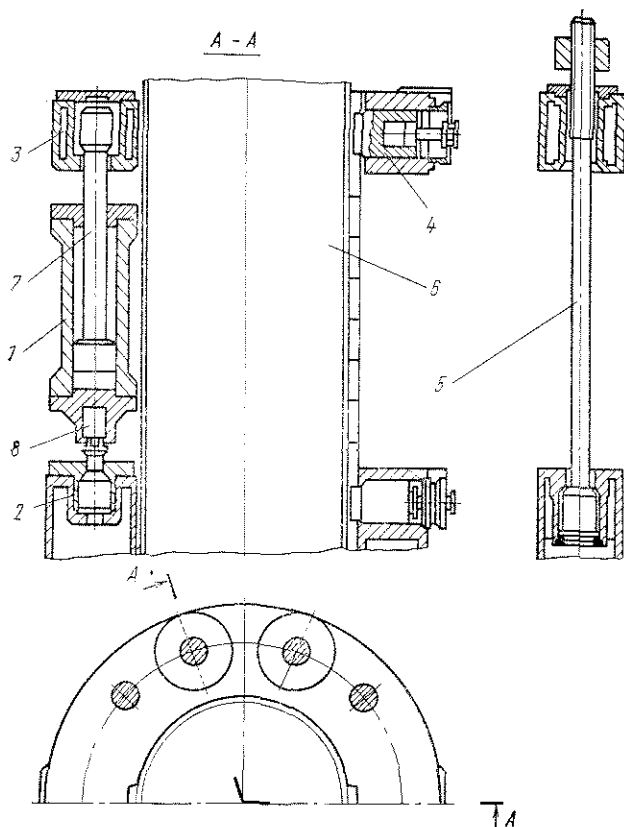
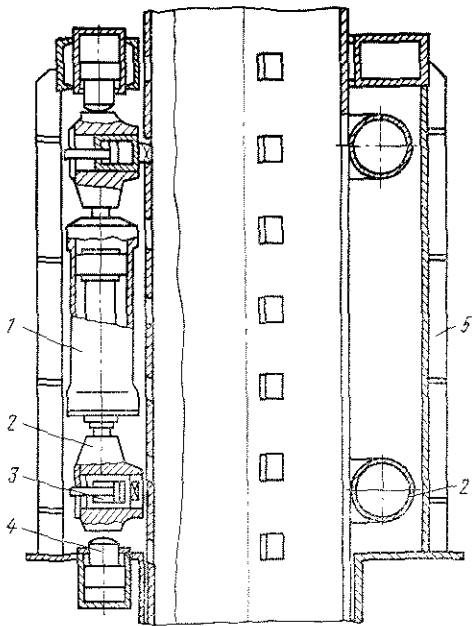


Рис. 36. Подъемник плавучей буровой установки «Апшерон»

цами жестко связаны с неподвижной траверсой, а верхние концы свободно проходят сквозь соответствующие отверстия в подвижной траверсе. Во время работы подъемного устройства винты свободно проходят через отверстия в траверсе. В рабочем положении винты с помощью гаек крепятся к верхней траверсе и воспринимают нагрузку от веса корпуса ПБУ.

Подъемник с плавающими траверсами. Разновидностью гидравлического подъемного устройства является конструкция с плавающими траверсами (рис. 37). Подъемник состоит из силовых цилиндров 1, траверс 2, захватов (замков) 3 и гидравлических амортизаторов 4, смонтированных в едином портале 5. Портал представляет собой металлоконструкцию, приваренную к палубе ПБУ. Силовые цилиндры посредством шарнирных устройств соединены с траверсами, охватывающими опорную колонну. Захваты (замки) по конструкции ана-

Рис. 37. Подъемник с кольцевыми плавающими траверсами



логичны с замком подъемника «Апшерон» и вмонтированы в траверсах.

Гидравлические амортизаторы, вмонтированные в верхнюю и нижнюю опорные части портала, обеспечивают равномерную передачу нагрузки на траверсы и компенсируют возможные удары. При подъеме и спуске опорных колонн нижняя траверса опирается о нижние амортизаторы и выполняет функции неподвижной (перехватывающей), а верхняя — подвижной (перемещающей) траверсы; при подъеме и спуске корпуса ПБУ верхняя траверса опирается о верхние амортизаторы и становится неподвижной, а нижняя — подвижной.

Принцип работы такого подъемника тот же, что и подъемника, имеющего подвижную и неподвижную траверсы.

Недостатками этой конструкции подъемного устройства являются: наличие мощных гидравлических амортизаторов, усложняющих конструкцию, и потери времени на «перехват».

На построенных фирмой «Оффшор» двух установках массой по 5500 т с гидравлическими подъемниками с плавающими траверсами скорость подъема равна 0,3 м/мин. Следовательно, для приведения платформы из походного положения в рабочее при глубине моря 30 м потребуется 6—12 ч в зависимости от гидрометеорологических условий.

Подъемник ПБУ «Баки». В нашей стране впервые в мировой практике по проекту Гипроморнефти разработано и освоено

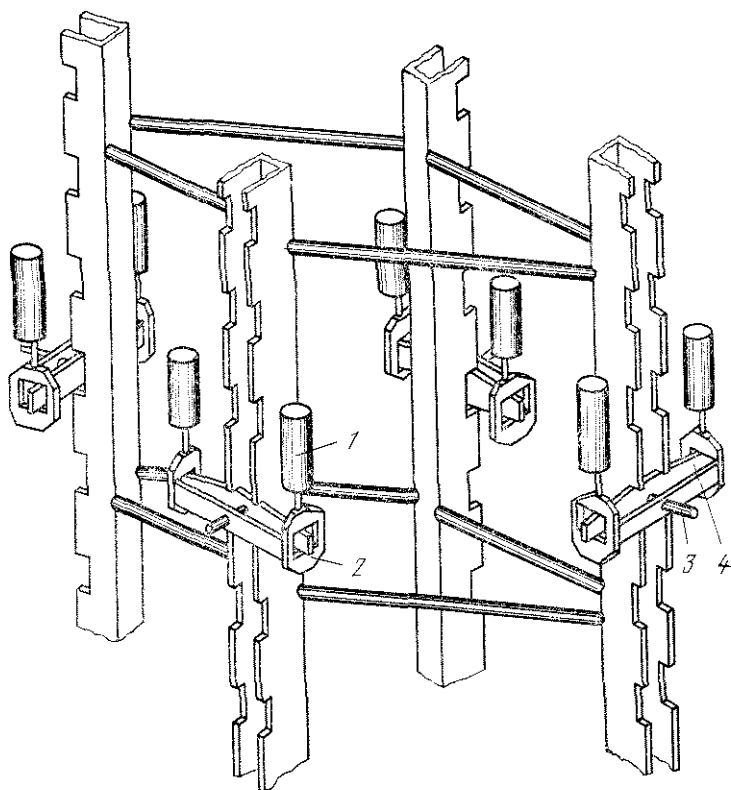


Рис. 38. Подъемник плавучей буровой установки «Бакы»

но производство гидравлических подъемников непрерывного действия, которыми укомплектована ПБУ «Бакы».

Подъемное устройство (рис. 38) состоит из двух групп одноходовых подъемников с захватами и упорных винтов, смонтированных на портале, жестко связанном с корпусом ПБУ. Портал установлен над шахтой, внутри которой перемещается опорная колонна, взаимодействующая с подъемным устройством. Каждая группа одноходовых подъемников состоит из двух подгрупп, которые расположены по углам опорной колонны. Подгруппа состоит из двух подвешенных в портале силовых цилиндров 1, штоки которых соединены с кареткой 2, движущейся вертикально в направляющих портала. Внутри каретки по направляющим движется с помощью вспомогательного гидроцилиндра 3 замковая балка 4, которая может быть введена в зацепление с рейкой опорной колонны (или выведена из зацепления с ней). Таким образом, усилия силовых цилинд-

ров при спуско-подъемных операциях передаются на рейку опорной колонны через каретку и замковую балку.

У этого подъемника обе группы захватов являются перемещающимися. При выполнении операций по подъему и спуску опорных колонн или корпуса подъемник работает следующим образом: замковые балки одной группы силовых цилиндров вводятся в зацепление с опорной колонной и совершают рабочий ход (перемещение колонны или корпуса); в это время

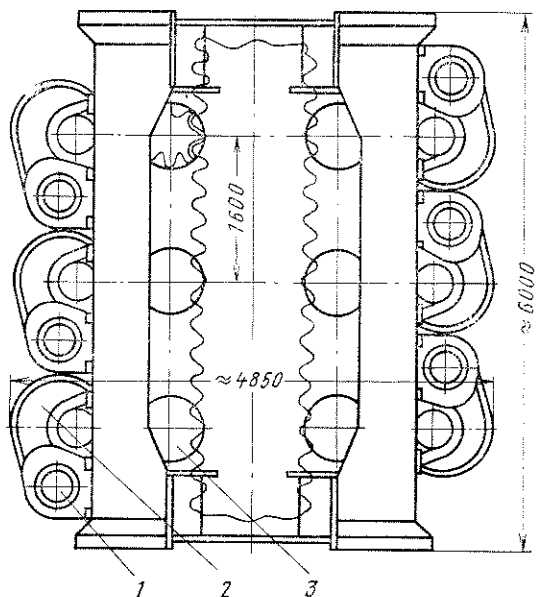


Рис. 39. Механический подъемник

замковые балки другой группы цилиндров из зацепления с опорной колонной выведены и совершают встречное движение без нагрузки — холостой ход.

По окончании этого цикла замковые балки, совершавшие холостой ход, вводятся в зацепление с опорной колонной, принимают на себя нагрузку. Одновременно освобождаются от нагрузки замковые балки, совершавшие рабочий ход, и с помощью вспомогательных цилиндров выводятся из зацепления. Таким образом, процесс спуско-подъема осуществляется без потери времени на холостые ходы. Благодаря этому средняя скорость спуско-подъема существенно увеличивается и для ПБУ «Баки» составляет около 25 м/ч.

При выполнении операций задавливания или «выдергивания» опорной колонны из грунта, требующих большого усилия, в зацепление с рейками одновременно вводятся все замковые балки и операции выполняются обеими группами силовых ци-

цилиндров. Так как при подъеме корпуса каждую колонну перемещает одна группа одноходовых подъемников, грузоподъемность силовых цилиндров должна быть выбрана равной примерно $\frac{1}{4}$ массы полностью нагруженного корпуса. Следовательно, грузоподъемность силовых цилиндров, обслуживающих одну колонну, равна половине массы корпуса. Это позволяет задавливать и «выдергивать» опорную колонну двойным усилием.

Упорные винты предназначены для разгрузки силовых цилиндров, когда ПБУ находится в рабочем положении на точке бурения. Винты расположены соосно со штоками силовых цилиндров и крепятся верхним концом к каретке, а нижним — с помощью двух полувтулок и прижимной гайки к поперечной балке портала. Во время работы подъемного устройства винт свободно проходит сквозь упорную втулку. Для передачи нагрузки на винты гайки переводятся под поперечную балку, полувтулки надвигаются на винты и прижимаются гайками. Длина нарезки позволяет фиксировать корпус в любом положении.

Как отмечено выше, в конструкции опорной колонны имеются четыре рейки, расположенные по углам колонны. Если учесть трудоемкость и высокую стоимость изготовления реек, то становится очевидной целесообразность сокращения их до двух. В этом случае вторая группа силовых цилиндров должна быть расположена над первой группой. Такая конструкция «двухэтажного» подъемника разработана в Гипроморнефти для ПБУ, предназначенной для эксплуатации на мелководье.

По данным обзора зарубежной информации в период 1971—1974 гг. введено в эксплуатацию 39 самоподъемных установок, из которых около половины укомплектовано гидравлическими подъемниками.

Механический подъемник. При очень простой конструкции механического подъемника технологическая сложность изготовления из высокопрочных свариваемых сталей реек и шестерен с модулем 60—90 мм вызывает технические трудности. Это, по-видимому, является основной причиной того, что некоторые фирмы отдают предпочтение гидравлическим подъемным устройствам, изготовление которых не требует специальной оснастки.

Механическое подъемное устройство представляет собой реечно-шестеренчатую передачу, состоящую из группы зубчатых редукторов с индивидуальным электрическим или гидравлическим приводом, расположенных у каждой рейки опорной колонны. Зубчатая рейка составляет элемент несущей конструкции колонны. У трехгранной пространственной колонны три рейки, у четырехгранной две или четыре рейки. Блок редукторов устанавливается на фундаменте, специально предусмотренном в корпусе ПБУ.

Подъемное устройство работает следующим образом: при перекачивании ведущей шестерни, находящейся в постоянном зацеплении с рейкой, колонна перемещается относительно корпуса установки. В этом случае, если корпус находится на плаву, то колонна опускается. Когда колонны достигнут грунта и до отказа войдут в него, начнется подъем корпуса по опорным колоннам. При вращении шестерен в обратном направлении колонны или корпус также будут перемещаться в обратном направлении.

На рис. 39 показана одна из последних конструкций механического подъемного устройства фирмы «Армко», которая отличается от известной конструкции подъемника «Ле Турно» наличием двухсторонней нарезки зубцов на рейке. Как видно из рисунка, шесть мотор-редукторов 1 с шестью зубчатыми передачами 2 и шестью ведущими шестернями 3 собраны в единый блок симметрично — по три с каждой стороны рейки. Ведущие шестерни находятся в постоянном зацеплении с рейками. Последние расположены по двум углам опорной колонны. Каждый мотор-редуктор имеет встроенный тормоз, рассчитанный на удвоенный крутящий момент двигателя. Управление подъемным механизмом осуществляется с единого пульта. Можно управлять каждой опорой индивидуально или всеми колоннами одновременно. Работа подъемника происходит аналогично описанному выше.

По данным фирмы грузоподъемность одного подъемника равна 2400 т, грузоподъемность каждой ведущей шестерни 200 т при подъеме платформы и 400 т при удержании ее на точке бурения. Скорость подъема 18 м/ч. Габаритные размеры одного подъемника приведены на рис. 39.

В механических подъемниках с реечно-шестеренчатой передачей управление упрощено до минимума, так как нет необходимости в сложной программе выполнения операций, как в гидравлических подъемниках. Преимуществом описанной конструкции является расположение реек только на двух углах четырехгранной опорной колонны. К недостаткам следует отнести отсутствие запаса грузоподъемности для задавки колонн в грунт.

§ 2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Гидросистема подъемного устройства ПБУ предназначена для привода и управления подъемниками и обеспечивает создание необходимых потоков масла (рабочей жидкости) для выполнения всех вертикальных и горизонтальных перемещений захватов в процессе спуска и подъема колонн и корпуса, а также задавливания в грунт и выдергивания из грунта опорных колонн.

Гидравлическая система любого подъемного устройства состоит из:

контура высокого давления, включающего насосный агрегат, гидроаппаратуру (золотниковые распределители, предохранительные и обратные клапаны, дроссели и др.), арматуру (вентили, краны) и приборы контроля, обвязанные трубопроводами между собой и с силовыми цилиндрами;

контура среднего давления, также включающего насосный агрегат, гидроаппаратуру, арматуру и приборы, обвязанные между собой и с цилиндрами захватов;

контура управления, в котором предусмотрены насосы, гидроаппаратура, арматура и приборы контроля.

Система гидросиловой установки осуществляет подачу рабочей жидкости от соответствующих насосов к силовым цилиндрам в контуре высокого давления, к цилиндрам захватов в контуре среднего давления, в контуре управления золотниковыми распределителями высокого и среднего давления.

Технические характеристики агрегатов, аппаратуры, контрольно-измерительных приборов и арматуры, используемых для гидравлического привода подъемного устройства, в различных конструкциях подъемников могут отличаться друг от друга, но принципиальные схемы гидроуправления имеют много общего, так как выполняют идентичные функции [7, 39].

В качестве рабочей жидкости чаще всего используются минеральные масла, качество которых характеризуется вязкостью, стабильностью, температурой застывания. Эти качества должны сохраняться в течение примерно 2 лет. Вязкость масла определяет величину потерь давления в гидросистеме и влияет на износ трущихся поверхностей. При выборе масла следует иметь в виду работу гидросистемы в условиях изменения температуры окружающей среды от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$. Поэтому нужно параллельно решать вопрос о необходимости подогрева или охлаждения масла. Для указанных выше температур вязкость масла изменяется в пределах $10-1000$ сСт, что, естественно, затрудняет его выбор. Вместе с тем практика подтверждает применимость масла вязкостью $20-40$ сСт при температуре $+50^{\circ}\text{C}$. Этим условиям соответствуют масла: индустриальное 20 и ИСн-50у, а также турбинное 22 и 46 [8, 11].

Ниже приведены гидравлическая схема управления двумя различными по конструкции и принципу работы подъемными устройствами, применяемыми на ПБУ «Апшерон» и «Бақы». В гидравлической системе подъемных устройств этих ПБУ рабочие давления приняты соответственно: контур высокого давления $20,0$ и $32,0$ МПа; контур среднего давления $5,0$ и $12,5$ МПа; контур управления $2,0$ и $2,5$ МПа.

На рис. 40 показана принципиальная схема гидросиловой установки ПБУ «Апшерон». Контур высокого давления включает: насос радиально-плунжерный с регулируемой подачей

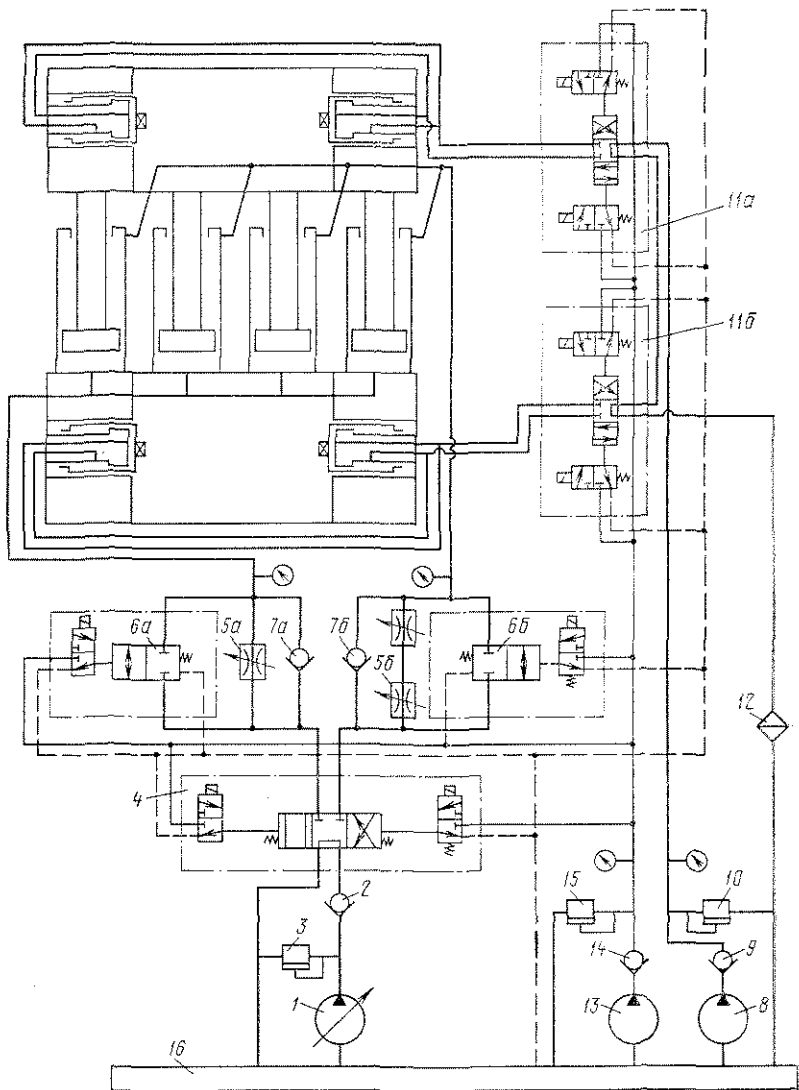


Рис. 40. Принципиальная гидравлическая схема подъемного устройства ПБУ «Апшерон»

НПР-200м 1; обратный клапан 2, обеспечивающий свободный поток масла только в одном направлении; предохранительный клапан 1КР-40, защищающий гидросистему при превышении давления, 3; трехпозиционный золотниковый распределитель 1РТМЗ-40 с электрогидравлическим управлением, предназначенный для изменения направления потоков масла

в гидросистеме 4; регулируемый дроссель 15с97НЖ, создающий дополнительное сопротивление перемещению поршней силовых цилиндров во время спуска колонны или корпуса 5а, 5б; сливной золотник 1КСМ-40 с электрогидравлическим управлением, обеспечивающий при необходимости прямой слив масла в бак 6а, 6б; обратный клапан, служащий для направления потока масла при нагнетании, минуя дроссель, при сливе — через дроссель или через сливной золотник 7а, 7б.

В систему среднего давления, предназначенную для привода захватов, включены: роторно-шиберный насос ЛЗФ-70, развивающий давление 6,4 МПа при подаче 70 л/мин 8; обратный клапан 9; предохранительный клапан 1КР-20 10; трехпозиционный золотниковый распределитель 1РГМЗ-20 11а, 11б; фильтр масла ФМ-6 12.

В систему управления входят: насос Л1Ф 35, развивающий давление 2,5 МПа при подаче 35 л/мин 13; обратный клапан 14; предохранительный клапан 1КР-20 15.

В контурах всех трех систем предусмотрены контрольные приборы. Все трубопроводы — металлические. Подводы масла к силовым цилиндрам и замкам осуществлены с помощью гибких резинометаллических рукавов [32].

Работа подъемного устройства. Прежде чем перейти к рассмотрению выполнения подъемным устройством той или иной программы, отметим, что в работе подъемника важное значение имеет разница в размерах между высотой захвата и высотой окна в рейке, создающая определенный зазор при закрытых захватах. Зазор обеспечивает: возможность свободного входа и выхода захватов в окна рейки и возможность переноса нагрузки с одной группы захватов на другую при закрытых захватах обеих групп путем совершения «микрохода» — движения перемещающей группы захватов в пределах зазоров.

Величина зазора в общем случае зависит от скорости вертикальных перемещений захватов, а также от скорости их открытия и закрытия. Расчеты показывают, что при скорости перемещения захвата 0,8—1,2 см/с, которая достигается при применении гидропневмоаккумуляторов, зазор в пределах 100—120 мм достаточен для удовлетворения приведенных выше требований.

Гидросистема подъемника приводится в действие с центрального пульта управления. Управление производится вручную или в автоматизированном режиме.

Рассмотрим подробно работу гидросистемы подъемника ПБУ «Апшерон».

При неработающем подъемнике насос гидросистемы управления с помощью предохранительного клапана 15 поддерживает в системе управления постоянное давление. Все трехпозиционные золотниковые распределители в системе высокого 4 и среднего давления 11а и 11б находятся в нейтральном

положении. Насос системы высокого давления 1 через обратный клапан 2, трехпозиционный распределитель 4 и насос среднего давления 8, через обратный клапан 9, трехпозиционные распределители 11а и 11б и фильтр 12 создают циркуляцию масла в своих гидросистемах, работая без давления.

В процессе работы подъемника его рабочие органы совершают следующие перемещения:

ход подвижной траверсы вверх под нагрузкой (подъем опорной колонны, холостой ход) или в тормозном режиме (спуск корпуса)¹;

ход подвижной траверсы вниз под нагрузкой (подъем корпуса, холостой ход) или в тормозном режиме (спуск опорных колонн);

открытие и закрытие замков неподвижной траверсы;

открытие и закрытие замков подвижной траверсы.

В процессе этих перемещений рабочих органов в гидросистеме переключением золотниковых распределителей создаются потоки масла заданного направления.

1. Ход подвижной траверсы вверх под нагрузкой.

Под давлением масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 4 смещается влево через его правый пилот; сливной золотник 6б — влево через его пилот. При этом создается поток масла: от главного насоса 1 через обратный клапан 2, трехпозиционный распределитель 4, обратный клапан 7а масло подается в нижнюю полость силовых гидроцилиндров. Вытесняемое из верхней полости масло через сливной золотник 6б и трехпозиционный распределитель 4 сливается в бак 16.

2. Ход подвижной траверсы вверх в тормозном режиме.

Трехпозиционный распределитель 4 смещен влево; сливной золотник в нулевом положении. При этом масло под действием внешней нагрузки (веса корпуса ПБУ) вытесняется из верхней полости силовых цилиндров и через дроссель 5б и трехпозиционный распределитель 4 сливается в бак 16. Насос 1 через обратный клапан 2, трехпозиционный распределитель 4 и обратный клапан 7а пополняет нижнюю полость силовых цилиндров. Настройка дросселей 5б производится так, чтобы насос 1 успевал пополнять освобождающийся при движении поршней объем, т. е. не происходил бы «разрыв струи» масла.

3. Ход подвижной траверсы вниз под нагрузкой.

При давлении масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 4 смещается вправо через левый пилот; сливной золотник 6а — вправо через его пилот. При этом соз-

¹ Тормозной режим является одним из режимов работы гидросистемы, при котором энергия, выделяющаяся во время спуска корпуса или колонны, поглощается дросселем, в результате чего происходит торможение движения корпуса (колонны).

дается поток масла: от главного насоса 1 через обратный клапан 2, трехпозиционный распределитель 4 и обратный клапан 7б масло направляется в верхнюю полость силовых гидроцилиндров. При вытеснении из нижней полости масло через сливной золотник 6а и трехпозиционный распределитель 4 сливается в бак 16.

4. Ход подвижной траверсы вниз в тормозном режиме.

Трехпозиционный распределитель 4 смещен вправо; сливной золотник в нулевом положении. При этом масло под действием внешней нагрузки (вес опорной колонны) вытесняется из нижней полости силовых цилиндров и через дроссель 5а, трехпозиционный распределитель 4 сливается в бак 16. С помощью насоса 1 через обратный клапан 2, трехпозиционный распределитель 4 и обратный клапан 7б пополняется верхняя полость силовых цилиндров. Настройка дросселя 5а выбирается такой, чтобы не происходил «разрыв струи» масла.

5. Закрытие замков подвижной траверсы.

Под давлением масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 11а смещается вниз через верхний пилот. Создается поток масла: от насоса 8 через обратный клапан 9 и трехпозиционный распределитель 11а масло попадает в поршневые полости гидроцилиндров замков. Вытесняясь из штоковых полостей гидроцилиндров замков, масло через трехпозиционные распределители 11а, 11б и фильтр 12 сливается в бак 16.

6. Открытие замков подвижной траверсы.

При давлении масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 11а смещается вверх через нижний пилот. Создается поток масла; от насоса 8 через обратный клапан 9 и трехпозиционный распределитель 11а масло попадает в штоковые полости гидроцилиндров замков. Вытесняясь из поршневых полостей гидроцилиндров замков, масло через трехпозиционные распределители 11а, 11б и фильтр 12 сливается в бак 16.

7. Закрытие замков неподвижной траверсы.

Под давлением масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 11б смещается вверх через нижний пилот. Создается поток масла: от насоса 8 через обратный клапан 9, трехпозиционные распределители 11а и 11б масло попадает в поршневые полости гидроцилиндров замков. Вытесняясь из штоковых полостей гидроцилиндров замков, масло через трехпозиционный распределитель 11б и фильтр 12 сливается в бак 16.

8. Открытие замков неподвижной траверсы.

При давлении масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 11б смещается вниз через верхний пилот. Создается поток масла: от насоса 8 через обратный клапан 9, трехпозиционные распределители 11а и 11б масло попадает в

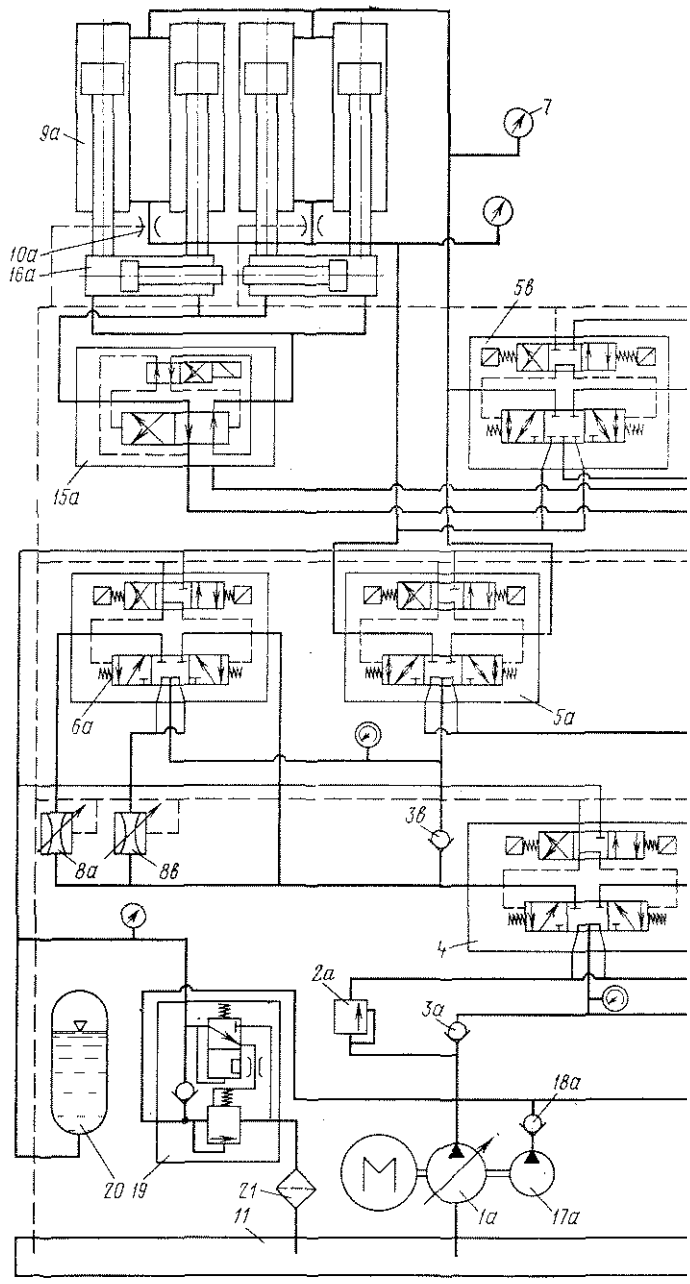


Рис. 41. Принципиальная гидравлическая

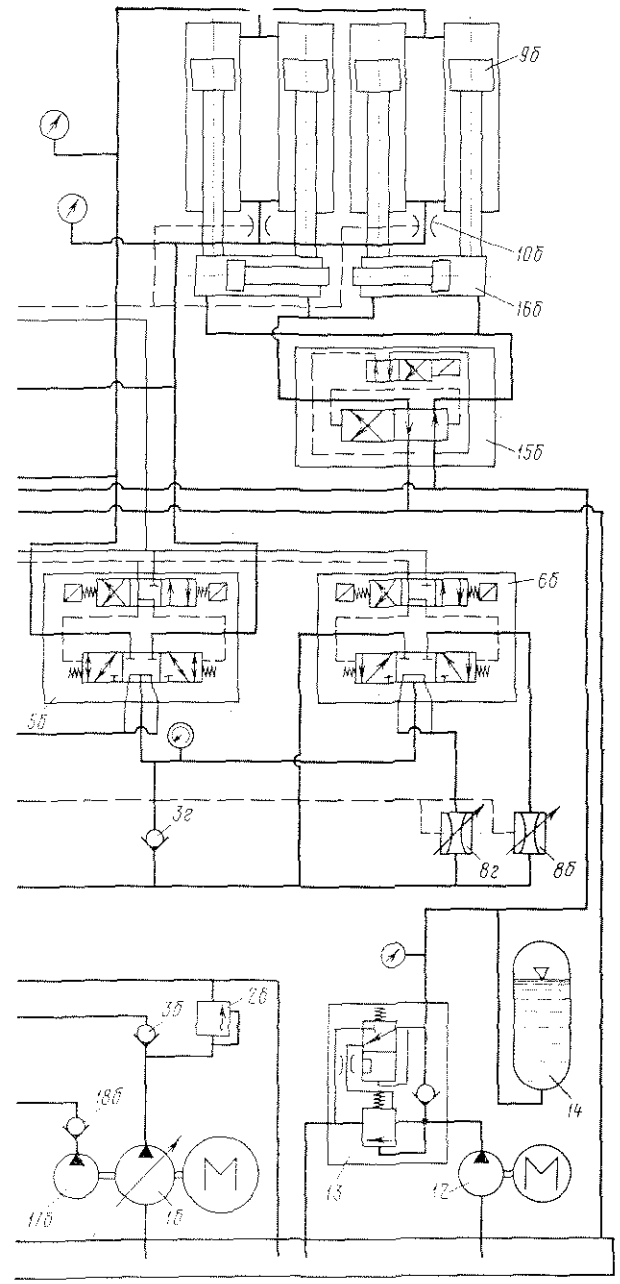


схема подъемного устройства ПБУ «Баки»

штоковые полости гидроцилиндров замков. Вытесняясь из поршневых полостей гидроцилиндров замков, масло через трехпозиционный распределитель 11б и фильтр 12 сливается в бак 16.

На рис. 41 приведена принципиальная схема гидросиловой установки ПБУ «Баки». Система высокого давления включает: главные насосы высокого давления аксиально-поршневого типа НАР-224/320 с подачей по 200 л/мин 1а, 1б; предохранительные клапаны КПЕ-50 2а, 2б; обратные клапаны КО-50 3а, 3б; главный трехпозиционный золотниковый распределитель 50-2-1МН5782-65 4; трехпозиционные золотниковые распределители 50-2-1МН5782-65 (объединяющие) 5а, 5б; трехпозиционный золотниковый распределитель 50-2-3МН5782-65 (объединяющий) 5в; трехпозиционные золотниковые распределители 50-2-1МН5782-65, управляющие включением и отключением дросселей 6а, 6б; манометры 7; дроссели ДР-С-32 8а, 8б, 8в, 8г; дроссели синхронизирующие ДР-С-32 10а, 10б; силовые цилиндры I и II групп 9а и 9б.

В систему среднего давления входят: насос среднего давления БГ 12-23А 12; цилиндры привода замковых балок 16а, 16б; двухпозиционные распределители 546 ПГ 73-25 15а, 15б; аккумулятор пневмогидравлический АР-Л4016 14; клапан разгрузочный автоматический КХД-16/160 13.

В систему управления входят: насос низкого давления с подачей 57 л/мин, навешенный на главный насос НАР-224/320 в системе высокого давления 17а, 17б; обратный клапан 151-24 18а, 18б; клапан разгрузочный автоматический КХД-32/160 19; аккумулятор пневмогидравлический АР-Л-6,3/16 20; фильтр пористый ФП7 $\frac{25-10}{6,3}$ 21; бак для масла, питающего все три системы 11.

Гидросистема подъемного устройства обеспечивает осуществление всех необходимых операций при выполнении программ по непрерывному спуску и подъему колонн и корпуса, а также задавки и «выдергивания» колонн с помощью силовых цилиндров обеих групп.

В гидросистеме принята параллельная работа двух насосов высокого давления НАР-224/320 с суммарной подачей $Q=400$ л/мин. Предусмотрена возможность работы одним насосом.

Для обеспечения работы управляющих распределительных золотников и другой гидроаппаратуры в контуре низкого давления используется радиально-шиберный насос, развивающий давление 2,5 МПа, установленный на насосе НАР-224/320. В отличие от ПБУ «Апшерон» в подъемнике ПБУ «Баки» вертикальные перемещения рабочих органов обеих групп однокорпусных подъемников совмещены.

Рассмотрим работу гидросистемы подъемного устройства

ПБУ «Баки». После включения в работу гидросиловой установки с помощью насосов системы управления *17a* и *17б* через обратные клапаны *18a* и *18б* и автоматический разгрузочный клапан *19* происходит зарядка пневмогидравлического аккумулятора *20*.

По достижении в аккумуляторе *20* давления, равного давлению настройки автоматического клапана *19*, последний срабатывает и переключает насосы *17a* и *17б* на слив в бак *22* через фильтр *21*. После падения давления в аккумуляторе *20* (по мере расхода масла) автоматический клапан *19* вновь переключается и происходит пополнение аккумулятора. Таким образом, в системе управления все время поддерживается примерно постоянное давление.

Аналогично этому в аккумуляторе *14* системы среднего давления с помощью насоса *12* и автоматического клапана *13* поддерживается примерно постоянное давление.

При неработающем подъемнике главный трехпозиционный распределитель *4* находится в нейтральном положении, а трехпозиционные распределители *5a*, *5б*, *5в* и *6a*, *6б* могут находиться либо в нейтральном, либо в одном из крайних положений (в зависимости от положения органов управления на пульте управления подъемом). При этом главные насосы *1a* и *1б*, работая без давления, через обратные клапаны *3a* и *3б* и главный трехпозиционный распределитель *4* создают циркуляцию масла в гидросистеме высокого давления.

Двухпозиционные распределители *15a* и *15б* в системе среднего давления находятся в нулевом (исходном) положении. При этом масло от аккумулятора *14* подается через распределитель *15a* в поршневые полости гидроцилиндров *16a* захватов I группы, а через распределитель *15б* в поршневые полости гидроцилиндров *16б* захватов II группы; штоковые полости гидроцилиндров *16a* и *16б* соединены с баком *22* соответственно через распределители *15a* и *15б*. При этом захватам I и II групп подан импульс на закрытие, и они находятся либо в закрытом состоянии, либо прижаты к рейке опорной колонны.

В процессе работы подъемника его рабочие органы при выполнении каждой из четырех программ совершают следующие операции.

1. Вертикальные перемещения.

При объединении поршневых (верхних) полостей силовых гидроцилиндров I и II групп:

ход I группы захватов вверх под нагрузкой (подъем опорной колонны); при этом II группа захватов совершает холостой ход вниз;

ход I группы захватов вниз в тормозном режиме (спуск опорной колонны); при этом II группа захватов совершает холостой ход вверх;

ход II группы захватов вверх под нагрузкой (подъем опорной колонны); при этом I группа захватов совершает холостой ход вниз;

ход II группы захватов вниз в тормозном режиме (спуск опорной колонны); при этом I группа захватов совершает холостой ход вверх.

При объединении штоковых (нижних) полостей силовых гидроцилиндров I и II групп:

ход I группы захватов вверх в тормозном режиме (спуск корпуса ПБУ); при этом II группа захватов совершает холостой ход вниз;

ход I группы захватов вниз под нагрузкой (подъем корпуса ПБУ); при этом II группа захватов совершает холостой ход вверх;

ход II группы захватов вверх в тормозном режиме (спуск корпуса ПБУ); при этом I группа захватов совершает холостой ход вниз;

ход II группы захватов вниз под нагрузкой (подъем корпуса ПБУ); при этом I группа захватов совершает холостой ход вверх.

При параллельном соединении силовых гидроцилиндров I и II групп:

ход вверх захватов I и II групп под нагрузкой (выдергивание опорных колонн);

ход вниз захватов I и II групп под нагрузкой (задавливание опорных колонн).

Ход только захватов I группы:

вверх под нагрузкой (подъем опорной колонны, холостой ход);

вверх в тормозном режиме (спуск корпуса ПБУ);

вниз под нагрузкой (подъем корпуса ПБУ, холостой ход);

вниз в тормозном режиме (спуск опорной колонны).

Ход только захватов II группы:

вверх под нагрузкой (подъем опорной колонны, холостой ход);

вверх в тормозном режиме (спуск корпуса ПБУ);

вниз под нагрузкой (подъем корпуса ПБУ, холостой ход);

вниз в тормозном режиме (спуск опорной колонны).

2. Горизонтальные перемещения:

закрытие захватов I группы;

открытие захватов I группы;

закрытие захватов II группы;

открытие захватов II группы.

Для получения этих перемещений рабочих органов в гидросистеме переключением золотниковых распределителей создаются потоки масла заданного направления.

Вертикальные перемещения.

При объединении поршневых полостей силовых гидроци-

линдров I и II групп. Для такого объединения полостей под давлением в системе управления трехпозиционный распределитель *5а* смещается влево через правый пилот, а трехпозиционный распределитель *5б* — вправо через левый пилот.

Ход I группы захватов вверх под нагрузкой и холостой ход II группы захватов вниз.

Под давлением масла в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* смещается влево через его правый пилот; дроссельный трехпозиционный распределитель *6б* также смещен влево через его правый пилот. Распределитель *6а* находится в нейтральном положении.

При этом создается поток масла: от главных насосов *1а* и *1б* соответственно через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный трехпозиционный распределитель *4*, обратный клапан *3в*, объединяющий трехпозиционный распределитель *5а*, синхронизирующие дроссели *10а* масло подается в нижние полости силовых гидроцилиндров I группы *9а*. Вытесняемое из верхних полостей цилиндров *9а* масло через объединяющие трехпозиционные распределители *5а* и *5б* поступает в верхние полости силовых гидроцилиндров II группы *9б*. Из нижних полостей силовых гидроцилиндров I группы *9б* масло через синхронизирующие дроссели *10б*, объединяющий трехпозиционный переключатель *5б*, дроссельный трехпозиционный переключатель *6б*, главный трехпозиционный распределитель *4* сливается в бак *22*.

Ход I группы захватов вниз в тормозном режиме и холостой ход II группы захватов вверх.

Под давлением масла в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* смещается вправо через левый пилот, а дроссельный трехпозиционный распределитель *6а* — влево через правый пилот. Распределитель *6б* находится в нейтральном положении.

При этом масло под действием внешней нагрузки (веса опорной колонны) вытесняется из штоковых полостей силовых цилиндров I группы *9а* через синхронизирующие дроссели *10а*, объединяющий трехпозиционный переключатель *5а*, дроссельный трехпозиционный распределитель *6а*, дроссель *8а*, главный трехпозиционный распределитель *4* в бак *22*. Главные насосы *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный трехпозиционный распределитель *4*, обратный клапан *3г*, объединяющий трехпозиционный распределитель *5б*, синхронизирующие дроссели *10б* подают масло в штоковые полости силовых гидроцилиндров II группы *9б*. Вытесняемое из поршневых полостей силовых гидроцилиндров *9б* масло через объединяющие распределители *5а* и *5б* пополняет верхние полости силовых гидроцилиндров I группы *9а*.

Ход II группы захватов вверх под нагрузкой и холостой ход вниз I группы захватов.

Положение трехпозиционных распределителей 4 и 6б такое же, как при ходе I группы захватов вниз в тормозном режиме, а трехпозиционный распределитель 6а смещен вправо. Поток масла от главных насосов и в объединенных полостях движется так же, как и при ходе I группы захватов вниз в тормозном режиме из штоковых полостей гидроцилиндров I группы 9а, масло через синхронизирующие дроссели 10а, трехпозиционные распределители 5а, 6а и 4 сливается в бак 22.

Ход II группы захватов вниз в тормозном режиме и холостой ход вверх I группы захватов.

Положение трехпозиционных распределителей 4 и 6а такое же, как при ходе I группы захватов вверх под нагрузкой; трехпозиционный дроссельный распределитель 6б смещен вправо.

Поток масла от главных насосов и в объединенных полостях такой же, как описан при ходе I группы захватов вверх под нагрузкой; из штоковых полостей гидроцилиндров II группы 9б масло под действием внешней нагрузки через синхронизирующие дроссели 10б, трехпозиционные распределители 5б и 6б, дроссель 8б, трехпозиционный распределитель 4 вытесняется в бак 22.

При объединении штоковых полостей силовых гидроцилиндров I и II групп. Для создания такого объединения полостей под давлением масла в контуре управления трехпозиционный распределитель 5а смещается вправо через левый пилот, а трехпозиционный распределитель 5б — влево через правый пилот.

Ход I группы захватов вверх в тормозном режиме и холостой ход вниз II группы захватов.

Под давлением масла в контуре управления главный трехпозиционный распределитель 4 смещается вправо через левый пилот, а дроссельный трехпозиционный распределитель 6а — влево через правый пилот. Распределитель 6б находится в нейтральном положении.

Масло под действием внешней нагрузки (веса корпуса ПБУ) вытесняется из поршневых полостей силовых гидроцилиндров 9а через трехпозиционные распределители 5а и 6а, дроссель 8а и главный трехпозиционный распределитель 4 в бак 22.

Главные насосы 1а и 1б через обратные клапаны 3а и 3б, главный трехпозиционный распределитель 4, обратный клапан 3г, объединяющий трехпозиционный распределитель 5б подают масло в поршневые полости силовых гидроцилиндров II группы 9б. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров 9б масло через синхронизирующие дроссели 10б, объединяющие трехпозиционные распределители 5а и 5б и синхронизирующие дроссели 10а заполняет штоковые полости силовых

гидроцилиндров I группы 9а. Дроссель 8а настраивается так, чтобы не происходил «разрыв струи» масла.

Ход I группы захватов вниз под нагрузкой и холостой ход II группы захватов вверх.

Под давлением масла в контуре управления главный трехпозиционный распределитель 4 смещается влево через правый пилот, а дроссельный трехпозиционный распределитель 6б — влево через правый пилот. Распределитель 6а находится в нейтральном положении.

Масло главными насосами 1а и 1б через обратные клапаны 3а и 3б, главный трехпозиционный распределитель 4, обратный клапан 3в, объединяющий трехпозиционный распределитель 5а подается в поршневые полости силовых гидроцилиндров I группы 9а. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров 9а масло через синхронизирующие дроссели 10а, объединяющие трехпозиционные распределители 5а и 5б, синхронизирующие дроссели 10б поступает в штоковые полости силовых гидроцилиндров II группы 9б. Из поршневых полостей гидроцилиндров 9б масло через трехпозиционные распределители 5б, 6б и 4 сливается в бак 22.

Ход II группы захватов вверх в тормозном режиме и холостой ход I группы захватов вниз.

Положение трехпозиционных распределителей 4 и 6а такое же, как при ходе I группы захватов вниз под нагрузкой; трехпозиционный распределитель 6б смещен вправо. Поток масла от главных насосов и в объединенных полостях такой же, как при ходе I группы захватов вниз под нагрузкой; из поршневых полостей силовых гидроцилиндров II группы 9б масло под действием внешней нагрузки (веса корпуса ПБУ) вытесняется через трехпозиционные распределители 5б и 6б, дроссель 8б, главный трехпозиционный распределитель 4 в бак 22. Дроссель 8б настраивается так, чтобы не происходил «разрыв струи» масла.

Ход II группы захватов вниз под нагрузкой и холостой ход I группы захватов вверх.

Положение трехпозиционных распределителей 4 и 6б такое же, как при ходе II группы захватов вверх в тормозном режиме; трехпозиционный распределитель 6а смещен вправо. Поток масла от главных насосов и в объединенных полостях такой же, как при ходе II группы захватов вверх в тормозном режиме; из поршневых полостей силовых гидроцилиндров I группы масло через трехпозиционные распределители 5а, 6а и 4 сливается в бак 22.

При параллельном соединении силовых гидроцилиндров I и II групп.

Для создания такого объединения полостей объединяющие трехпозиционные распределители 5а и 5б смещаются влево

под давлением в контуре управления через правые пилоты. Распределитель *5б* находится в нейтральном положении.

Ход I и II групп захватов вверх под нагрузкой.

Давление в контуре управления смещает главный трехпозиционный распределитель *4* и дроссельный трехпозиционный распределитель *6б* влево через их правые пилоты.

Масло главными насосами *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный трехпозиционный распределитель *4*, обратный клапан *3в*, объединяющий распределитель *5а* подается: в штоковые полости силовых гидроцилиндров I группы *9а* через синхронизирующие дроссели *10а*; в силовые гидроцилиндры II группы *9б* через объединяющий золотник *5в*, синхронизирующие дроссели *10б*. Вытесняясь из поршневых полостей гидроцилиндров *9а* и *9б* через объединяющий распределитель *5в*, масло через распределители *5а*, *5б*, *6б* и *4* сливается в бак *22*.

Ход I и II групп захватов вниз под нагрузкой.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* и дроссельный трехпозиционный распределитель *6а* смещаются вправо через их левые пилоты.

Масло главными насосами *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный трехпозиционный распределитель *4*, обратный клапан *3г*, объединяющие распределители *5б* и *5а* подается в поршневые полости гидроцилиндров I группы *9а* и поршневые полости гидроцилиндров II группы *9б* через объединяющий распределитель *5в*. Вытесняясь из штоковых полостей гидроцилиндров *9а* через синхронизирующие дроссели *10а* и из штоковых полостей гидроцилиндров *9б* через дроссели *10б* и объединяющий распределитель *5в*, масло через распределители *5а*, *6а* и *4* сливается в бак *22*.

Ход захватов I группы. При давлении в контуре управления объединяющий распределитель *5а* смещается влево через правый пилот. Распределитель *5б* находится в нейтральном положении.

Ход вверх под нагрузкой.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* и дроссельный распределитель *6б* смещаются влево через правые пилоты. Главные насосы *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, распределитель *4*, обратный клапан *3в*, распределитель *5а*, синхронизирующие дроссели *10а* нагнетают масло в штоковые полости силовых гидроцилиндров I группы *9а*. Вытесняясь из поршневых полостей гидроцилиндров *9а*, масло через распределители *5а*, *5б*, *6б* и *4* сливается в бак *22*.

Ход вверх в тормозном режиме.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* смещается влево через правый пи-

лот, а дроссельный распределитель *6б* — вправо через левый пилот.

Поток масла от насосов такой же, как при ходе захватов I группы; вытесняемое под действием внешней нагрузки из поршневых полостей гидроцилиндров *9а* масло через распределители *5а*, *5б*, *6б*, дроссель *8б*, главный распределитель *4* сливается в бак *22*.

Ход вниз под нагрузкой.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* и дроссельный трехпозиционный распределитель *6а* смещаются вправо через их левые пилоты.

Главные насосы *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный распределитель *4*, обратный клапан *3г*, объединяющие распределители *5б* и *5а* нагнетают масло в поршневые полости силовых гидроцилиндров I группы *9а*. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров *9а* масло через синхронизирующие дроссели *10а*, трехпозиционные распределители *5а*, *6а* и *4* сливается в бак *22*.

Ход вниз в тормозном режиме.

Под давлением в контуре управления главный распределитель *4* смещается вправо через левый пилот, а дроссельный распределитель *6а* — влево через правый пилот. Поток масла от насосов такой же, как при ходе вниз под нагрузкой; вытесняемое под действием внешней нагрузки масло из штоковых полостей гидроцилиндров *9а* через синхронизирующие дроссели *10а*, трехпозиционные распределители *5а* и *6а*, дроссель *8а*, главный распределитель *4* сливается в бак *22*.

Ход захватов II группы. Под давлением в контуре управления объединяющий распределитель *5б* смещается влево через правый пилот. Распределитель *5а* находится в нейтральном положении.

Ход вверх под нагрузкой.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* и дроссельный трехпозиционный распределитель *6б* смещаются влево через правые пилоты. Главные насосы *1а* и *1б* через обратные клапаны *3а* и *3б*, главный распределитель *4*, обратный клапан *3в*, объединяющие распределители *5а* и *5б*, синхронизирующие дроссели *10б* нагнетают масло в штоковые полости силовых гидроцилиндров II группы *9б*. Вытесняемое из поршневых полостей гидроцилиндров *9б* масло через распределители *5б*, *6б* и *4* сливается в бак *22*.

Ход вверх в тормозном режиме.

При давлении в контуре управления главный трехпозиционный распределитель *4* смещается влево через правый пилот, а дроссельный распределитель *6б* — вправо через левый пилот. Поток масла от насосов такой же, как при ходе вверх под нагрузкой; вытесняемое под действием внешней нагрузки масло

из поршневых полостей гидроцилиндров 96 через распределители 56 и 66, дроссель 86, главный распределитель 4 сливается в бак 22.

Ход вниз под нагрузкой.

Под давлением в контуре управления главный трехпозиционный распределитель 4 и дроссельный распределитель 6а смещаются вправо через их левые пилоты. Главные насосы 1а и 1б¹ через обратные клапаны 3а и 3б, главный распределитель 4, обратный клапан 3г, объединяющий распределитель 5б нагнетают масло в поршневые полости силовых гидроцилиндров II группы 96. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров 96 масло через синхронизирующие дроссели 10б, распределители 5б, 5а, 6а и 4 сливается в бак 22.

Ход вниз в тормозном режиме.

Под давлением в контуре управления главный распределитель 4 смещается вправо через левый пилот, а дроссельный распределитель 6а — влево через правый пилот. Поток масла от главных насосов такой же, как при ходе вниз под нагрузкой; вытесняемое под действием внешней нагрузки масло из штоковых полостей гидроцилиндров 96 через синхронизирующие дроссели 10б, распределители 5б, 5а и 6а, дроссель 8а, главный распределитель 4 сливается в бак 22.

Горизонтальные перемещения.

Закрытие захватов I группы. От гидроаккумулятора 14 масло через двухпозиционный распределитель 15а поступает в поршневые полости гидроцилиндров привода захватов I группы 16а. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров 16а масло через распределитель 15а сливается в бак 22.

Открытие захватов I группы. Под давлением в контуре управления двухпозиционный распределитель 15а смещается вправо через его пилот.

Масло от гидроаккумулятора 14 через двухпозиционный распределитель 15а поступает в штоковые полости гидроцилиндров привода захватов I группы 16а. Вытесняемое из поршневых полостей гидроцилиндров 16а масло через двухпозиционный распределитель 15а сливается в бак 22.

Закрытие захватов II группы. Масло от гидроаккумулятора 14 через двухпозиционный распределитель 15б поступает в поршневые полости гидроцилиндров привода захватов II группы 16б. Вытесняемое из штоковых полостей гидроцилиндров 16б масло через распределитель 15б сливается в бак 22.

Открытие захватов II группы. Под давлением в контуре управления двухпозиционный распределитель 15б смещается вправо через его пилот. Масло от гидроаккумулятора 14 через двухпозиционный распределитель 15б поступает в штоковые полости гидроцилиндров привода захватов II группы 16б. Вытесняемое из поршневых полостей гидроцилиндров 16б масло через распределитель 15б сливается в бак 22.

§ 3. ПРОГРАММЫ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОДЪЕМНИКОВ

Все гидравлические подъемники плавучих буровых установок независимо от их конструктивного исполнения и гидросхем выполняют следующие функции:

I программа — спуск опорных колонн до грунта;

II программа — подъем корпуса ПБУ по колоннам на необходимую высоту;

III программа — спуск корпуса ПБУ по колоннам на воду;

IV программа — подъем опорных колонн в транспортное положение.

Кроме этих четырех программ подъемники обеспечивают задавливание в грунт (задавку) и выдергивание из грунта опорных колонн. Задавка и выдергивание производятся при максимальной грузоподъемности подъемника. Для подъемников, имеющих подвижную (перемещающую) и неподвижную (удерживающую) группы захватов (ПБУ «Апшерон» и «Азербайджан»), задавка и выдергивание производятся при работе подъемника соответственно по II и IV программам; для подъемников, у которых все группы захватов являются подвижными (ПБУ «Хазар» и «Баки»), максимальная грузоподъемность обеспечивается параллельным включением гидроцилиндров обеих групп.

Каждая программа состоит из восьми отдельных элементов (операций), выполняемых подъемником в строго определенной последовательности: рабочий ход, холостой ход, перенос нагрузки с одной группы захватов на другую и обратно (две операции), открытие и закрытие захватов каждой из групп (всего четыре операции). Под закрытием захватов здесь и далее понимается введение их в окна рейки опорной колонны, под открытием — выведение захватов из окон.

Для подъемников, у которых обе группы захватов являются перемещающими (например, подъемник ПБУ «Баки»), захваты I и II групп совершают вертикальные перемещения, одновременно двигаясь навстречу друг другу и находясь в противофазе. При этом операция рабочего хода захватов I группы совершается одновременно с холостым ходом захватов II группы, а при холостом ходе захватов I группы захваты II группы совершают рабочий ход.

Перенос нагрузки с одной группы захватов на другую производится с помощью так называемого «микрохода», совершаемого подъемником при закрытых захватах обеих групп в пределах зазоров между захватами и кромками окон в рейках опорной колонны. Для подъемников с подвижной и неподвижной группами захватов (ПБУ «Апшерон» и «Азербайджан») нагрузка с подвижных захватов переносится на неподвижные при спуске или подъеме опорной колонны (I и IV программы) «микроходом» вниз, при подъеме или спуске корпуса ПБУ

(II и III программы) — «микроходом» вверх; нагрузка с неподвижных захватов на подвижные переносится «микроходом» соответственно вверх и вниз. При этом одна половина «микрохода» совершается под нагрузкой и является как бы частью рабочего хода, а другая — без нагрузки и является как бы частью холостого хода.

Аналогично переносится нагрузка подъемником с двумя перемещающими группами захватов (ПБУ «Баки»). Однако в отличие от описанного выше одна половина «микрохода» представляет собой спуск, а другая — подъем корпуса либо опорной колонны. Например, если опорную колонну спускали с помощью захватов I группы (захваты II группы совершали при этом холостой ход), то после закрытия захватов II группы будет производиться «микроход»: сначала захваты I группы вместе с опорной колонной движутся вниз, а захваты II группы — вверх в окне рейки, в котором они находятся; затем захваты II группы достигают верхней кромки окна рейки и начинают приподнимать колонну, а захваты I группы отрываются от верхней кромки окна и продолжают движение вниз в окне рейки. Перенос нагрузки завершен.

Если представить перемещение захватов по вертикали стрелкой, направленной вверх или вниз, закрытие захватов — горизонтальной стрелкой, направленной влево, открытие захватов — горизонтальной стрелкой, направленной вправо, перемещение захватов I группы изобразить сплошной линией, а захватов II группы — пунктирной, то получим диаграммы работы подъемника во всех четырех программах (рис. 42). Ход захватов II группы по вертикали для подъемника с обеими перемещающими группами захватов можно не изображать, так как они движутся в противофазе с захватами I группы.

Как видно из диаграмм (рис. 42, а), последовательность выполнения операций во всех четырех программах следующая.

участок 0—1 — рабочий ход захватов I группы;

участок 1—2 — закрытие захватов II группы;

участок 2—3 — перенос нагрузки с захватов I группы на захваты II группы;

участок 3—4 — открытие захватов I группы;

участок 4—5 — холостой ход захватов I группы;

участок 5—6 — закрытие захватов I группы;

участок 6—7 — перенос нагрузки с захватов II группы на захваты I группы;

участок 7—8 — открытие захватов II группы.

Основное различие программ заключается в том, что направления перемещений захватов по вертикали при выполнении одноименных операций в разных программах могут не совпадать и перемещения начинаются из разных исходных положений. При этом открытие и закрытие захватов производится при их разных положениях по вертикали.

Например, рабочий ход захватов I группы в I программе направлен вниз и начинается из крайнего верхнего положения, а в IV программе направлен вверх и начинается из нижнего положения; открытие захватов I группы производится в I программе в крайнем нижнем положении, а в IV программе — в верхнем положении захватов.

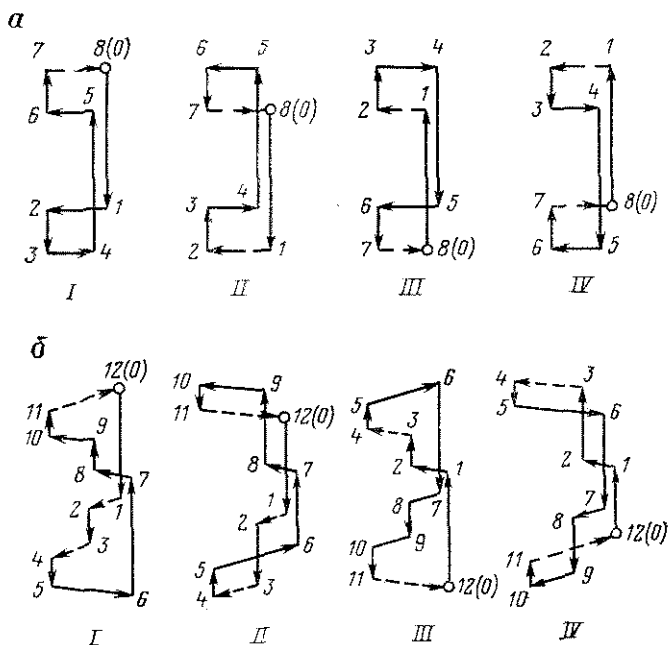


Рис. 42. Диаграммы работы подъемника по программам:
 а — «с разделением перемещений»; б — «с совмещением перемещений»; I — спуск опорной колонны; II — подъем корпуса ПБУ; III — спуск корпуса ПБУ; IV — подъем опорной колонны

Кроме указанного выше, спуск корпуса ПБУ и опорных колонн, в отличие от их подъема, производится при включенных на сливе масла дросселях, поглощающих энергию, выделяющуюся при спуске.

§ 4. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОДЪЕМНИКОВ

Система управления гидравлическими подъемниками, выполняемая по определенным гидравлическим схемам, содержит аппаратуру управления, защиты, контроля и т. п. Необходимые при работе подъемника переключения в гидравлических схемах, т. е. создание потоков масла заданного направления, производятся с помощью специальных электрогидравлических переключателей и золотников, которые управляются с помощью

электромагнитов. Таким образом, управление работой подъемника сводится к управлению работой электромагнитов по соответствующей электрической схеме. Эта схема содержит необходимую аппаратуру управления и сигнализации: выключатели, переключатели, кнопки, реле, сигнальные лампы, а также датчики (путевые переключатели), контролирующие положение рабочих органов подъемника (открытое и закрытое состояние захватов, положение захватов по вертикали).

При составлении схем управления подъемником можно использовать один из следующих принципов.

1. Захваты открываются и закрываются во время остановок подъемника при ходе по вертикали; эти остановки производятся в момент, когда захваты находятся точно против окна рейки. Подъемники, имеющие систему управления по этому принципу, иногда называют подъемниками с «разделением перемещений». Диаграммы работы таких подъемников приведены выше на рис. 42, а.

2. Импульс на закрытие захватов подается заранее: захваты прижимаются к рейкам и скользят по ним до тех пор, пока не «провалятся» в окна рейки. Импульс на открытие захватов подается также заранее, в момент, когда захваты нагружены весом опорной колонны или корпуса ПБУ; захваты открываются после завершения переноса нагрузки. В этом случае операции по открытию и закрытию захватов выполняются во время их вертикальных перемещений, и подъемники, управляемые по этому принципу, иногда называют подъемниками с «совмещением перемещений». Диаграммы работы таких подъемников приведены на рис. 42, б.

Как видно из диаграмм, рабочий ход захватов I группы начинается в точке 0 и совершается при захватах II группы, имеющих импульсы на открытие, на участке 0—1; в точке 1 захваты II группы получают импульс на закрытие и прижимаются к рейке (участок 1—2), скользят вдоль нее (участок 2—3) и «проваливаются» в окно рейки (участок 3—4). Таким образом, рабочий ход совершается на участке 0—4, а закрытие захватов II группы — на участке 3—4. В точке 4 начинается «микроход» для переноса нагрузки с захватов I группы на захваты II группы и одновременно захваты I группы получают импульс на открытие. Однако сразу открытия не происходит, так как захваты I группы находятся под нагрузкой (участок 4—5). Затем они освобождаются и открываются (участок 5—6). Следовательно, «микроход» совершается на участке 4—6, а операция открытия захватов I группы — на участке 5—6.

В точке 6 начинается холостой ход захватов I группы, совершающийся при наличии импульса на их открытие на участке 6—7; в точке 7 захваты I группы получают импульс на закрытие и прижимаются к рейке (участок 7—8), скользят по

ней (участок 8—9) и «проваливаются» в окна рейки (участок 9—10). Холостой ход совершается на участке 6—10, закрытие захватов I группы на участке 9—10. В точке 10 начинается «микроход» переноса нагрузки с захватов II группы на захваты I группы и одновременно захваты II группы получают импульс на открытие. Однако сразу открытия не происходит, так как захваты II группы находятся под нагрузкой (участок 10—11). Затем они освобождаются и открываются (участок 11—12). «Микроход» совершается на участке 10—12, а операция открытия захватов II группы — на участке 11—12.

Схемы управления, выполненные по первому принципу, по сравнению со схемами управления, выполненными по второму принципу, несколько сложнее, требуют большего числа путевых выключателей и их точной установки. Конструкция или гидросхема подъемника должны обеспечивать синхронизацию¹ движения одноименных захватов при совершении холостого хода. Важным преимуществом первого принципа является то, что вертикальные перемещения и операции по открытию и закрытию захватов разделены.

По первому принципу работают системы управления подъемниками ПБУ «Апшерон» и «Азербайджан», по второму — ПБУ «Баку» и «Хазар» (ручное управление).

Рассмотрим модернизированную систему управления подъемником одной из опорных колонн плавучей буровой установки «Апшерон».

На рис. 43 упрощенно показаны конструкция, гидросхема и зоны включения путевых выключателей этого подъемника.

Диаграммы работы подъемника по четырем программам приведены на рис. 42. Выполнение программ обеспечивается включением электромагнитов гидравлических переключателей, приведенных в табл. 12.

На рис. 44 приведена в упрощенном виде принципиальная

Таблица 12

| Номер операции | Участок диаграммы | Программа | | | |
|----------------|-------------------|-----------|----|-----|----|
| | | I | II | III | IV |
| 1 | 0—1 | 35 | 35 | 36 | 36 |
| 2 | 1—2 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 3 | 2—3 | 35 | 36 | 36 | 35 |
| 4 | 3—4 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 5 | 4—5 | 36 | 36 | 35 | 35 |
| 6 | 5—6 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 7 | 6—7 | 36 | 35 | 35 | 36 |
| 8 | 7—8 | 32 | 32 | 32 | 32 |

¹ Под синхронной работой понимается одновременное выполнение операции рабочего хода подъемниками всех опорных колонн.

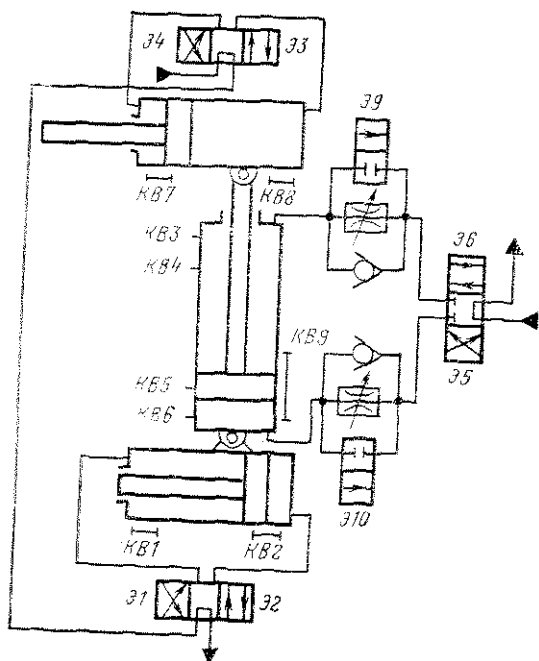


Рис. 43. Упрощенная гидросхема и зоны включения конечных выключателей подъемника ПБУ «Апшерон»

электрическая схема управления подъемником плавучей буровой установки «Апшерон».

Рассмотрим работу схемы управления при подъеме корпуса ПБУ (II программа). При этом переключатель программ ПП1 стоит в положении «корпус», а переключатель ПП2 — в положении «установка на точку». Горит сигнальная лампа ЛС3, показывая, что схема настроена на выполнение II программы. Если замки подвижной траверсы закрыты (нажат конечный выключатель КВ7), а неподвижной траверсы открыты (нажат конечный выключатель КВ2), то при установке переключателя ПУ в положение 5 получит питание реле РИ5 по цепи: контакт переключателя ПУ (101—168); контакты реле Р7 (168—114),

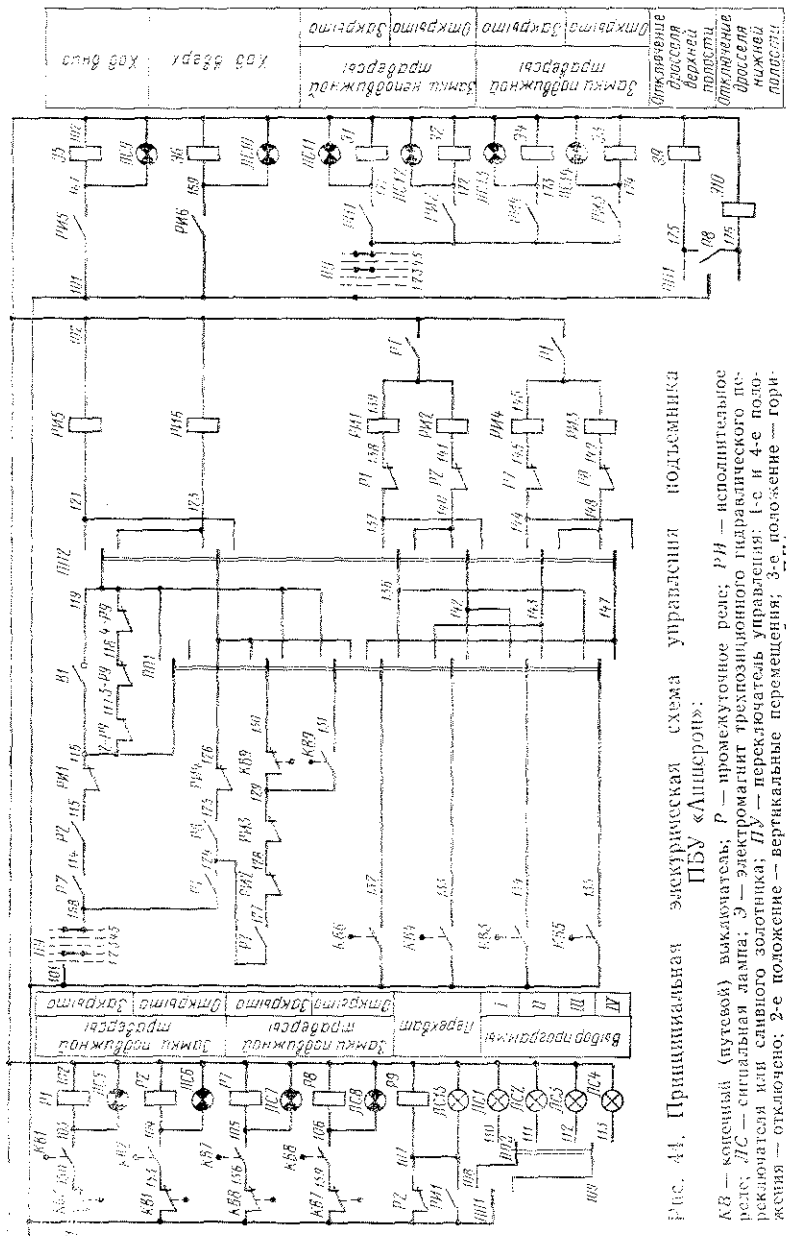


Рис. 41. Принципиальная электрическая схема управления подъемника ПБУ «Аншрон»:

КЗ — концевой (пустовой) выключатель; Р — промежуточное реле; РИ — исполнительное реле; ЛС — сигнальная лампа; Э — электромагнит трехпозиционного гидравлического переключателя или сливной золотник; ПУ — переключатель управления; 1-е и 4-е положения — отклонено; 2-е положение — вертикальные перемещения; 3-е положение — горизонтальные перемещения; 5-е положение — автоматическая работа; ПП1 — переключатель программы; колонна — корпус; ПП2 — то же установка на танку — съезд с точки; В1 — выключатель синхронной работы.

Когда подвижная траверса достигнет крайнего нижнего положения, срабатывает конечный выключатель *КВ6*. Получает питание катушка реле *РИ1*, его контакт (115—116) в цепи катушки реле *РИ5* размыкается, а контакты в цепи катушки реле *Р9* и электромагнита *Э1* замыкаются. Рабочий ход завершен, начинается вторая операция — закрытие замков неподвижной траверсы. Реле *Р9*, сработав, запрещает выполнение рабочего хода подъемниками 2-й, 3-й и 4-й колонн.

После закрытия замков неподвижной траверсы срабатывает конечный выключатель *КВ1*, теряют питание катушки реле *РИ1* и электромагнита *Э1*; вторая операция завершена. Получает питание катушка реле *РИ6* по цепи; контакт переключателя *ПУ* (101—168); контакты реле *Р1* (168—124), *Р7* (124—127), *РИ2* (127—128), *РИ3* (128—129); контакт конечного выключателя *КВ9* (129—131); контакты переключателей *ПП1* (131—126), *ПП2* (126—123); катушка реле *РИ6*. Реле *РИ6* включает электромагнит *Э6* трехпозиционного гидравлического переключателя и начинается третья операция — перенос нагрузки с замков подвижной траверсы на замки неподвижной траверсы «микроходом» вверх.

По завершении переноса нагрузки срабатывает конечный выключатель *КВ5*. Получает питание катушка реле *РИ3*, его контакт (128—129) в цепи катушки реле *РИ6* размыкается, а контакт в цепи электромагнита *Э3* замыкается.

«Микроход» вверх завершен, начинается четвертая операция — открытие замков подвижной траверсы. После того как замки подвижной траверсы откроются, срабатывает конечный выключатель *КВ8*, теряют питание катушки реле *РИ3* и электромагнита *Э3*, четвертая операция завершена.

Получает питание катушка реле *РИ6* по цепи: контакт переключателя *ПУ* (101—168); контуры реле *Р1* (168—124), *Р8* (124—125), *РИ4* (125—126); контакт переключателя *ПП2* (126—123); катушка реле *РИ6*. Последнее включает электромагнит *Э6* трехпозиционного гидравлического переключателя и начинается пятая операция — холостой ход подвижной траверсы вверх. По достижении траверсой крайнего верхнего положения срабатывает конечный выключатель *КВ3*. Получает питание катушки реле *РИ4*, его контакт (125—126) в цепи катушки реле *РИ6* размыкается, а контакт в цепи катушки электромагнита *Э4* замыкается.

Холостой ход завершен, начинается шестая операция — закрытие замков подвижной траверсы. После того как замки закроются, срабатывает конечный выключатель *КВ7*, теряют питание катушки реле *РИ4* и электромагнита *Э4*, шестая операция завершена.

Получает питание катушка реле *РИ5* по цепи: контакт переключателя *ПУ* (101—168); контакты реле *Р1* (168—124),

Р7 (124—127), *Р12* (127—128), *Р13* (128—129); контакт конечного выключателя *КВ9* (129—130); контакты переключателей *ПП1* (130—119), *ПП2* (119—121); катушка реле *Р15*. Реле *Р15* включает электромагнит *Э5* трехпозиционного гидравлического переключателя и начинается седьмая операция — перенос нагрузки с замков неподвижной траверсы на замки подвижной траверсы «микроходом» вниз. По завершении переноса нагрузки срабатывает конечный выключатель *КВ4*. Получает питание катушка реле *Р12*, его контакт (127—128) в цепи катушки реле *Р15* замыкается, а контакт в цепи электромагнита *Э2* замыкается.

«Микроход» вниз завершен, начинается восьмая операция — открытие замков неподвижной траверсы. После того как замки откроются, срабатывает конечный выключатель *КВ2*, теряют питание катушки реле *Р12* и электромагнита *Э2*, операция завершена. Получает питание реле *Р15* и электромагнит *Э5* — вновь начинается рабочий ход подъема корпуса ПБУ, как было описано выше.

При выполнении II программы постоянно включен электромагнит сливного золотника нижней полости цилиндров *Э10*, а при выполнении холостого хода включается и электромагнит сливного золотника верхней полости цилиндров *Э9*.

При выполнении I, III и IV программ схема управления работает аналогично, поэтому описание работы схемы при выполнении этих программ не приводится.

Ввиду того, что для открытия и закрытия замков необходима их точная установка напротив окна рейки, ручное управление схемой не предусмотрено. Однако оператор с помощью переключателя *ЛУ* может начать и остановить очередную операцию. По завершении операции подъемник останавливается автоматически.

Рассмотрим систему управления подъемным устройством ПБУ «Баки» (одной опорной колонны), работающую по второму принципу. На рис. 45 упрощенно показаны конструкция, гидросхема и зоны включения конечных выключателей подъемника ПБУ «Баки». Диаграммы работы подъемника в четырех программах приведены на рис. 42, б. Порядок включения электромагнитов гидравлических переключателей, обеспечивающих работу подъемника соответственно этим диаграммам, приведен в табл. 13.

В табл. 13 не учтено включение электромагнитов гидравлических переключателей, создающих объединение I и II групп гидроцилиндров. Так, выполнение I и IV программ производится при объединении верхних полостей гидроцилиндров I и II групп (включены электромагниты *Э5* и *Э7*), а выполнение II и III программ — при объединении нижних полостей гидроцилиндров I и II групп (включены электромагниты *Э6* и *Э8*).

| Номер операции | Участок диаграммы | Программа | | | |
|----------------|-------------------|-----------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | IV |
| 1 | 0—1 | Э4, Э2 | Э3, Э2 | Э4, Э2 | Э3, Э2 |
| 1 | 1—2—3 | Э4 | Э4 | Э4 | Э3 |
| 1 и 2 | 3—4 | Э4 | Э3 | Э4 | Э3 |
| 3 | 4—5 | Э4, Э1 | Э4, Э1 | Э4, Э1 | Э4, Э1 |
| 3 и 4 | 5—6 | Э4, Э1 | Э4, Э1 | Э4, Э1 | Э4, Э1 |
| 5 | 6—7 | Э3, Э1 | Э3, Э1 | Э3, Э1 | Э4, Э1 |
| 5 | 7—8—9 | Э3 | Э4 | Э3 | Э4 |
| 5 и 6 | 9—10 | Э3 | Э4 | Э3 | Э4 |
| 7 | 10—11 | Э3, Э2 | Э3, Э2 | Э3, Э2 | Э3, Э2 |
| 7 и 8 | 11—12 | Э3, Э2 | Э3, Э2 | Э3, Э2 | Э3, Э2 |

В этой таблице не учтена также работа электромагнитов, управляющих гидравлическими переключателями дросселей.

На рис. 46 приведена в упрощенном виде принципиальная электрическая схема управления подъемником ПБУ «Баку».

Рассмотрим работу схемы управления в автоматическом режиме при подъеме корпуса ПБУ (II программа). При этом переключатель программ *ПП* стоит в положении 2.

При установке переключателя *ПУ1* в положение 2 включаются и остаются включенными на все время выполнения программы электромагниты *Э5* и *Э7* гидравлических переключателей, которые объединяют нижние полости цилиндров I и II групп. Если захваты I группы закрыты (нажат конечный выключатель *КВ1*) и находятся в верхней части хода — замкнут контакт конечного выключателя *КВ3* (103—104), то получает питание реле *РИ2* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт конечного выключателя *КВ3* (103—104); контакт переключателя *ПП* (104—109); диод *Д3* (109—110); контакт реле *Р1* (110—111); катушка реле *РИ2*. Реле *РИ2* включает электромагнит *Э2* гидравлического переключателя, замки II группы получают импульс на открытие и, если они не нагружены, открываются.

После включения выключателя *В1* получает питание реле *РИ3* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт выключателя *В1* (103—171); контакты конечных выключателей *КВВ1*, *КВН1*, *КВВП*, *КВНП* (171—172—173—174—168), ограничивающих рабочие зоны перемещения захватов I и II групп по вертикали; контакты реле *Р1* (168—167), *Р2* (167—123), *Р7* (123—124), *Р8* (124—125); контакт переключателя *ПП* (125—116); диод *Д4* (116—117); контакт реле *РИ4* (117—118); катушка реле *РИ3*. Реле *РИ3* включает электромагнит *Э3* гидравлического переключателя, и начинается рабо-

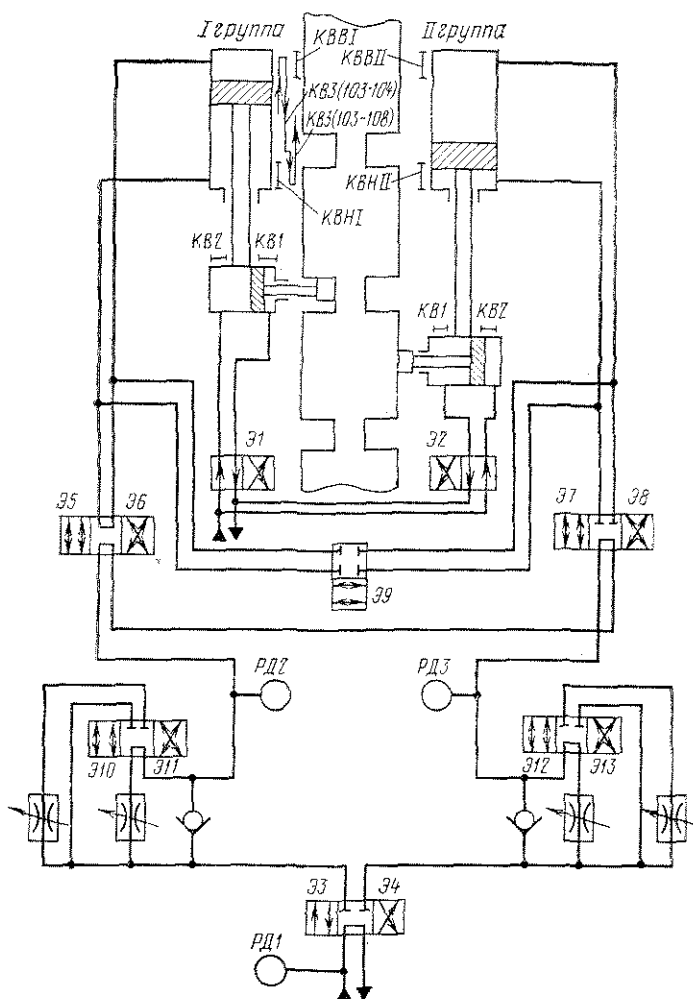
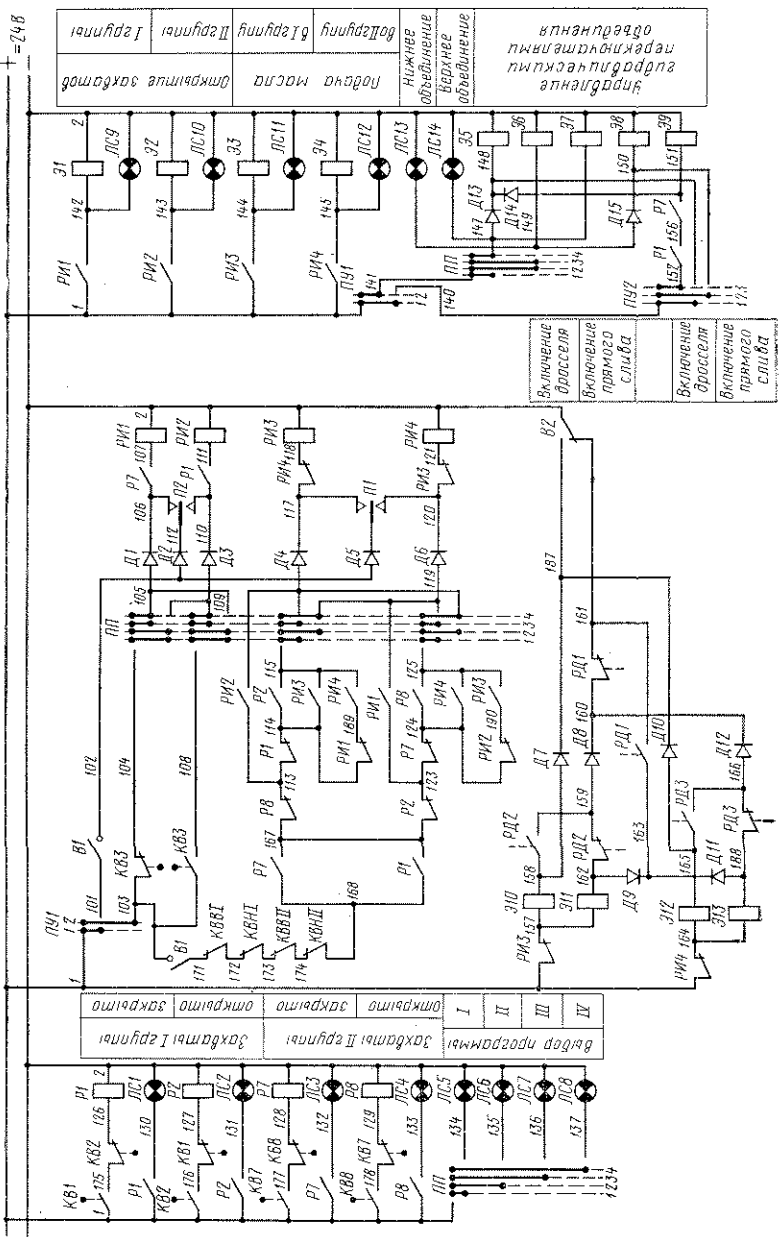


Рис. 45. Упрощенная гидросхема и зоны включения конечных выключателей подъемника ПБУ «Бақы»

чий ход захватов I группы относительно корпуса вниз (корпус ПБУ при этом поднимается вверх).

Масло, вытесняясь из нижней полости цилиндров I группы, по системе объединения поступает в нижнюю полость цилиндров II группы, захваты которой начинают двигаться вверх, т. е. совершают холостой ход. Эта работа подъемника соответствует участку 0—1 диаграммы II на рис. 42, б. После того как захваты пройдут около $\frac{3}{4}$ хода, конечный выключатель KB3 переключается, его контакт KB3 (103—104) в цепи ка-



| | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| Объёмное обводнение | Верхнее обводнение | Нижнее обводнение | Подъём масла | Выбор масла | Захваты II группы | Захваты I группы | Открытие захвата | Закрытие захвата |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|

| | | | |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Включение фроссолов | Выключение фроссолов | Включение фроссолов | Выключение фроссолов |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|

| | | | | | | | | | |
|----|-----|----|---|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| IV | III | II | I | Открытие захвата | Закрытие захвата | Захваты II группы | Захваты I группы | Открытие захвата | Закрытие захвата |
|----|-----|----|---|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|

тушки реле *РИ2* размыкается. Реле *РИ2* и электромагнит *Э2* обесточиваются, захваты II группы получают импульс на закрытие и прижимаются к рейке опорной колонны (участок 1—2 диаграммы), скользят по ней (участок 2—3 диаграммы).

Замкнувшийся контакт конечного выключателя *КВ3* (103—108) подготавливает цепь включения катушки реле *РИ1*. Когда захваты II группы достигнут окна в рейке, они закрываются (участок 3—4 диаграммы). При этом срабатывают конечный выключатель *КВ7* и реле *Р7*. Контакт реле *Р7* в цепи катушки *РИ3* размыкается, реле *РИ3* и электромагнит *Э3* обесточиваются. Завершены операции 1 и 2.

Получает питание катушка реле *РИ1* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт конечного выключателя *КВ* (103—108); контакт переключателя *ПП* (108—105); диод *Д1* (105—106); контакт реле *Р7* (106—107); катушка реле *РИ1*: Электромагнит *Э1* и захваты I группы получают импульс на открытие, однако открыться не могут, так как находятся под нагрузкой.

Получает питание катушка реле *РИ4* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт выключателя *В1* (103—171); контакты конечных выключателей *КВВ1*, *КВН1*, *КВВ11*, *КВН11* (171—172—173—174—168); контакты реле *Р7* и *Р1* (168—167), *Р2* (167—123), *РИ1* (123—119); диод *Д6* (119—120); контакт реле *РИ3* (120—121); катушка реле *РИ4*. Реле *РИ4* включает электромагнит *Э4* гидравлического переключателя, и начинается микроход переноса нагрузки (участок 4—5 диаграммы).

После завершения переноса нагрузки захваты I группы, разгрузившись, открываются (участок 5—6 диаграммы). Срабатывают конечный выключатель *КВ2* и реле *Р2*. Завершены операции 3 и 4.

Контакт реле *Р2* (167—123) в цепи катушки реле *РИ4* размыкается, однако катушка продолжает получать питание по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт выключателя *В1* (103—171); контакты конечных выключателей *КВВ1*, *КВМ1*, *КВВ11*, *КВН11* (171—172—173—174—168); контакты реле *Р7* (168—167), *Р8* (167—113), *Р1* (113—114), *Р2* (114—115); контакт переключателя *ПП* (115—119); диод

Рис. 46. Принципиальная электрическая схема управления подьсмника ПБУ «Баку»:

ПП — переключатель программ: 1-е положение — I программа, 2-е — II программа, 3-е — III программа, 4-е — IV программа; *ПУ1* — переключатель вида управления: 1-е положение — ручное управление, 2-е автоматическое управление; *ПУ2* — переключатель выбора рода работы при ручном управлении: 1-е положение — I группа захватов, 2-е — 2 группа захватов, 3-е — задвка, выдергивание; *П1*, *П2* — переключатели ручного управления; *В1* — выключатель управления; *В2* — переключатель торможения; тормоз — автоматическое управление торможением; *Д* — диод полупроводниковый; *РД* — реле давления. Остальные обозначения те же, что на рис. 44

Д6 (119—120); контакт реле *РИЗ* (120—121); катушка реле *РИ4*. Электромагнит *Э4* остается включенным: совершается холостой ход захватов I группы, а захваты II группы при этом совершают рабочий ход подъема корпуса ПБУ (участок 6—7 диаграммы).

После того как захваты пройдут около $\frac{3}{4}$ хода, конечный выключатель *КВЗ* переключается, его контакт *КВЗ* (103—108) в цепи реле *РИ1* размыкается. Реле *РИ1* и электромагнит *Э1* обесточиваются, захваты I группы получают импульсы на закрытие, прижимаются к рейке (участок 7—8 диаграммы) и скользят по ней (участок 8—9 диаграммы). Контакт конечного выключателя *КВЗ* (103—104) замыкается и подготавливает цепь включения катушки реле *РИ2*.

Когда захваты I группы достигнут окна в рейке, они закрываются (участок 9—10 диаграммы). Срабатывают конечный выключатель *КВ1* и реле *Р1*. Контакт реле *Р1* (113—114) в цепи катушки реле *РИ4* размыкается, реле *РИ4* и электромагнит *Э4* обесточиваются. Завершены операции 5 и 6.

Получает питание реле *РИ2* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт конечного выключателя *КВЗ* (103—104); контакт переключателя *ПП* (104—109); диод *ДЗ* (109—110); контакт реле *Р1* (110—111); катушка реле *РИ2*. Электромагнит *Э2* и захваты II группы получают импульс на открытие, но открыться не могут, так как находятся под нагрузкой.

Получает питание катушка реле *РИЗ* по цепи: контакт переключателя *ПУ1* (1—103); контакт выключателя *В1* (103—171); контакты конечных выключателей *КВВ1*, *КВН1*, *КВВП*, *КВНП* (171—172—173—174—168); контакты реле *Р1* и *Р7* (168—167), *Р8* (167—113), *РИ2* (113—116); диод *Д4* (116—117); контакт реле *РИ4* (117—118); катушка реле *РИЗ*. Включается электромагнит *Э4* и начинается «микроход» переноса нагрузки (участок 10—11 диаграммы). После завершения переноса нагрузки захваты II группы, разгрузившись, открываются (участок 11—12 диаграммы). Срабатывают конечный выключатель *КВ8* и реле *Р8*. Завершены операции 7 и 8.

Электромагниты *Э2* и *Э3* остаются включенными по цепям, описанным выше, и вновь начинается операция I программы.

Работа схемы управления при выполнении I, III и IV программ аналогична описанной.

В схеме управления подъемником применено автоматическое управление работой гидравлических переключателей дросселей. Работает схема следующим образом: если линия слива масла соединена с полостями гидроцилиндров, в которых имеется давление, то реле давления *РД2* или *РД3* (настройка около 7 МПа) включает электромагнит *Э10* или *Э12* гидравлического переключателя, направляющего масло на слив через дроссель.

Если при этом давление в нагнетательной линии насоса повысится и достигнет настройки реле давления *РД1* (около 15 МПа), что будет означать подъем опорной колонны либо корпуса ПБУ, реле *РД1* разорвет цепь электромагнитов *Э10* и *Э12* и включит электромагнит *Э11* или *Э13*. Это приведет к переключению соответствующего гидравлического переключателя и масло будет направлено на слив помимо дросселя.

Работой подъемного устройства ПБУ управляет оператор с центрального пульта, на котором сосредоточены все необходимые для работы оператора приборы управления подъемными устройствами (выключатели, переключатели, кнопки и т. п.). На пульте управления и в помещении, где он расположен, устанавливаются приборы контроля и сигнализации, дающие оператору следующую информацию о работе подъемных устройств:

- а) состояние захватов (открытое или закрытое положение);
- б) выполняемая операция;
- в) положение захватов по вертикали (приблизительное);
- г) величина давления в полостях главных гидроцилиндров;
- д) величина крена и дифферента корпуса ПБУ при его подъеме и спуске;
- е) величина осадки ПБУ в положении «на плаву».

На центральный пульт управления (либо вблизи него) выводится также сигнализация по следующим параметрам: минимальному уровню и максимальной температуре масла в масляном баке гидроподъемника каждой опорной колонны; минимальному давлению масла в системе гидроуправления, минимальному давлению масла в системе открытия — закрытия захватов. Вместо сигнализации в системе открытия — закрытия захватов может применяться манометр.

В помещении центрального пульта управления обычно устанавливают кнопки для дистанционного запуска и остановки гидронасосов и имеется сигнализация об их работе.

Помещение центрального пульта управления обеспечивается двухсторонней связью с подъемником каждой опорной колонны, а также с помещением пульта управления энергетической установкой.

Кроме управления с центрального пульта, желательно иметь местное управление на подъемнике каждой опорной колонны для наладочных работ и всевозможных проверок. Пульты местного управления могут быть как стационарными, так и переносными, включаемыми только на время проведения таких работ.

Глава VII

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ И РАЗМЕЩЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Технологическое оборудование, применяемое на плавучих буровых установках, предназначено для выполнения комплекса процессов по проводке скважины:

- строительство и обустройство устья скважины;
- собственно бурение скважины;
- приготовление, подача, очистка от выбуренной породы, регенерация и хранение бурового раствора;
- исследование выбуренной породы;
- приготовление цементного раствора и цементирование обсадных колонн;
- прием, хранение и транспортировка порошкообразных материалов;
- герметизация скважины;
- опробование нефтеносных пластов скважины на приток нефтепродуктов;
- сбор выбуренной породы (шлама) для нейтрализации или последующего вывоза на береговые приемные пункты;
- управление всеми технологическими операциями;
- Контроль за технологическими процессами.

Каждый вид технологического оборудования предназначен для выполнения одного из перечисленных процессов, т. е. при бурении нефтяной или газовой скважины участвуют комплекты технологического оборудования, которые выполняют те или другие операции данного процесса, управляют этими операциями и контролируют их выполнение.

Все оборудование, устанавливаемое на подвышечном портале в неотапливаемых помещениях и открытых местах, должно быть рассчитано для работы в условиях окружающей среды с температурой от -30° до $+40^{\circ}$ С. В зависимости от расчетной глубины скважины и степени механизации буровых работ состав комплектов технологического оборудования будет меняться. Ниже приведен перечень технологического оборудования, обычно устанавливаемого на современных ПБУ для глубин бурения 5000 м и более.

1. Буровой комплекс для бурения скважины; в его состав

входят: буровая вышка, на которой смонтированы кронблок, крюкоблок и вертлог, устройство для крепления неподвижного конца талевого каната, механизм для подъема и установки свечей, амортизаторы для правильной навивки каната, подсвечник, пневмораскрепитель, стойка пневмораскрепителя, пульт бурильщика, станция управления, буровая лебедка, вспомогательная лебедка, воздухохоборник, ключ АКБ, ротор с электроприводом, приспособление для расстановки УБТ, пульта управления, кабина для приборов контроля за технологическими процессами. Все перечисленные виды оборудования размещены на передвижном подвышечном портале. Буровые насосы, входящие в состав бурового оборудования, с целью обеспечения работы их под залив размещаются в трюме корпуса. Это позволяет более рационально использовать площади и объемы корпуса.

2. Комплекс для приготовления, подачи, очистки от выбуренной породы, утяжеления и регенерации, а также хранения бурового раствора. В состав этого комплекса оборудования входят: вибросита, служащие для очистки бурового раствора от выбуренной породы, гидроциклонная установка для вторичной, более тонкой очистки бурового раствора от мелких частиц выбуренной породы, гидравлические и механические перемешиватели для перемешивания раствора с целью сохранения требуемой консистенции, вакуумный дегазатор для отделения растворенного газа из бурового раствора, гидроциклонный пескоотделитель с шламовым насосом, рабочие и запасные емкости. Рабочие емкости, вибросита, дегазаторы, пескоотделители и перемешиватели расположены в районе подвышечного портала, вблизи устья скважины. Запасные емкости, оборудованные механическими и гидравлическими перемешивателями, размещены в трюме корпуса, рядом с буровыми насосами. Такое расположение позволяет сократить протяженность трубопроводов.

Все указанное оборудование обвязано желобной системой, трубопроводами с запорной арматурой по определенной технологической схеме. Обвязка оборудования выполнена с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность приема раствора любым буровым насосом из любой рабочей или запасной емкости.

Для обработки бурового раствора химическими реагентами предусматриваются специальные системы, состоящие из насосов, емкости и трубопроводов для приготовления вытяжек и хранения их.

3. Комплекс оборудования для приема, хранения и транспортировки порошкообразных материалов (бентонита, барита и цемента), используемых при приготовлении бурового и цементного растворов. Оборудование состоит из бункеров для хранения, бункер-весов для взвешивания порошкообразных материалов, разгрузочных бункеров, в которых воздух отделяется от порошкообразных материалов в процессе подачи порошков в гидросмесители, предназначенные для приготовления

бурового и цементного растворов, циклонов-пылеуловителей для очистки отработанного воздуха. Для обеспечения системы пневмотранспорта сжатым воздухом предусматривается компрессорная станция, состоящая из компрессоров, блока влагомаслоотделителей, блока осушки воздуха, запорной арматуры и контрольно-измерительных приборов.

Производительность оборудования системы пневмотранспорта выбирается, исходя из необходимости приготовления цементного раствора для цементирования одной из обсадных колонн, наибольшей по объему заливки. Практически для глубоких разведочных скважин наибольший объем цементного раствора расходуется на заливку первой технологической колонны. Расчеты показывают, что для этого случая заливки производительность системы пневмотранспорта должна быть в пределах 3 т/мин сухого цемента. В качестве примера можно указать на характеристику компрессорной станции ПБУ «Баки», у которой принято давление воздуха 0,3 МПа, наибольший расход воздуха 24 м³/мин.

4. Комплекс цементировочного оборудования, предназначенного для приготовления и нагнетания в скважину цементного раствора в процессе цементирования обсадных колонн. Он также используется и для выполнения других технологических операций, например для гидropескоструйной перфорации, нефтяной ванны и др.

В состав цементировочного комплекса входят: насосные агрегаты, нагнетающие готовый раствор в скважину; водопадающий блок, обеспечивающий подачу воды для затворения цементного раствора; мерная емкость для замера раствора, нагнетаемого в скважину; разгрузочный бункер, служащий для отделения воздуха от аэрированного цемента перед подачей последнего в цементомешалку; распределитель с шиберной заслонкой для распределения цемента в цементомешалку, и мерная емкость, служащая для контроля за количеством продаваемого раствора, нагнетаемого в скважину; пульт управления с приборами контроля.

В составе насосных агрегатов, как правило, предусматривается продавочный насос, техническая характеристика которого отличается от характеристики остальных насосных агрегатов более высоким давлением на нагнетательной линии при сравнительно меньшей производительности. Например, на ПБУ «Баки» для цементирования эксплуатационной колонны скважины глубиной 6000 м насосные агрегаты рассчитаны на давление 40 МПа, а продавочный насосный агрегат на 70 МПа.

Все цементировочное оборудование обычно размещено в отсеке корпуса, вблизи подвышечного портала. Обязка насосных агрегатов трубопроводами высокого давления (манифольдом) выполнена так, что допускает работу цементировочных насосов в процессе цементирования в любой комбинации.

5. Оборудование для электрометрических и каротажных работ, предназначенное для промыслово-геофизических исследований скважин с целью оценки нефтегазоносности пластов.

При выполнении каротажных работ в бурящейся скважине записываются результаты: электрического каротажа, бокового каротажного зондирования, индукционного каротажа, акустического каротажа, радиоактивного каротажа, а также результаты измерений параметров термометром, микронзондом, каверномером, пластовым инклинометром и резистивиметром.

Каротажное оборудование состоит из:

а) автоматической каротажной лаборатории, которая регистрирует на осциллографе результаты измерений и исследований;

б) каротажного подъемника (лебедки), с помощью которого аппаратура спускается в скважину и ведется автоматический контроль за основными параметрами перемещения кабеля — скорости, натяжения и глубины спуска аппаратуры.

Каротажный подъемник располагается стационарно на расстоянии 25—30 м от устья скважины так, чтобы было обеспечено визуальное наблюдение с пульта подъемника за движением кабеля от барабана до устья скважины.

6. В составе оборудования для грузоперевалочных работ, кроме грузовых кранов, которые размещаются на палубе, с учетом максимального охвата площади обслуживания предусматриваются такие грузоподъемные средства, как тельферы, мостовые краны для выполнения ремонтных и монтажных работ в местах расположения бурового и технологического оборудования.

7. Оборудование для сбора и нейтрализации отходов бурения предназначено для предотвращения загрязнения морской среды отходами бурения и продуктами опробования. Отходы бурения, содержащие токсичные компоненты химических реагентов, вредно влияют на фауну и флору моря. Поэтому борьба с загрязнением моря является важной задачей при проектировании ПБУ. Она может вестись как в направлении создания нетоксичных химических реагентов, так и в направлении нейтрализации отходов бурения непосредственно на ПБУ. В настоящее время наиболее эффективным следует считать сбор и вывоз на берег всех отходов бурения, содержащих токсичные компоненты. С этой целью, например, на ПБУ «Баки» предусмотрен сбор шлама (выбуренной породы) из-под вибросит в специальные контейнеры с последующим вывозом их на береговые базы. Одновременно в конструкции ПБУ предусматриваются технические решения, исключающие попадание в море химически обработанного бурового раствора, отходов бурения и продуктов опробования.

8. Система контроля и управления технологическими процессами предназначена для обеспечения оперативного и эффек-

тивного контроля за параметрами и управления технологическими процессами бурения, цементирования, транспорта и закрытого хранения порошкообразных материалов в процессе проводки нефтяной скважины.

Сложность технологии бурения и большая концентрация бурового и технологического оборудования на ПБУ, а также высокая стоимость строительства и проводки скважины предъявляют особые требования к обеспечению достаточного объема оперативной и достоверной информации о происходящих процессах. Поэтому для эффективного ведения технологических процессов должны быть предусмотрены необходимые приборы контроля и управления.

В процессе проводки скважины должны контролироваться следующие параметры:

нагрузка на крюке; крутящий момент стола ротора; крутящий момент на машинных ключах; частота вращения стола ротора; подача инструмента; механическая скорость бурения; скорость перемещения талевого блока; положение талевого блока относительно стола ротора; глубина забоя; число свечей в скважине; расход раствора, подающегося в скважину; давление в буровом манифольде; плотность бурового раствора на входе в скважину и выходе из нее; содержание газа в буровых растворах (нагнетаемого в скважину и выходящего из скважины); расход цементного раствора; расход продавочной жидкости; давление в цементировочном манифольде; плотность цементного раствора; плотность продавочной жидкости; температура раствора на выходе из скважины; уровень бурового раствора в скважине; уровень бурового раствора в приемных и запасных емкостях; уровень порошкообразных материалов в бункерах хранения, разгрузочных бункерах и бункер-весах; количество порошкообразных материалов в бункер-весах; работа талевого каната.

Приборы контроля технологических процессов выполняются двух видов — регистрирующие и показывающие. Регистрирующие приборы устанавливаются в кабине бурового мастера, располагаемой на подвышечном портале. Показывающие приборы монтируются в пульты приборов и устанавливаются по их принадлежности у поста бурильщика, в помещениях буровых и цементировочных насосов, а также в помещениях хранения бурового раствора и порошкообразных материалов. Датчики замеров давления, расхода, температуры, плотности растворов монтируются в соответствующих трубопроводах, а датчики уровня жидких и сыпучих материалов монтируются в бункерах и емкостях.

Как отмечено выше, все приборы контроля и управления, устанавливаемые во взрывоопасной зоне, должны быть взрывозащищенного исполнения.

9. Устьевое противовыбросовое оборудование предназначе-

но для герметичного перекрытия устья бурящейся скважины с целью предупреждения выброса, а также воздействия на скважину при проявлениях созданием противодавления или каким-либо другим способом. В состав устьевого противовыбросового оборудования входят:

а) универсальный и плащечные превенторы.

При бурении глубоких разведочных скважин все превенторы устанавливаются в следующем порядке: на фланец крестовины колонной головки устанавливают превентор с глухими плашками, обеспечивающий перекрытие скважины при отсутствии в ней бурильной колонны. Затем монтируют превентор с трубными плашками с диаметром, соответствующим размеру бурильной колонны. Этот превентор герметизирует скважину при нахождении в ней колонны бурильных труб. Последним устанавливают универсальный превентор, предназначенный для герметизации устья скважины в случае, если бурильная колонна находится в скважине. Универсальный превентор позволяет расхаживать, проворачивать и протаскивать любую часть бурильной колонны в процессе бурения и полностью перекрывать устье при отсутствии в скважине бурильной колонны;

б) пульта гидроуправления превенторами и задвижками.

Как правило, предусматривается два пульта управления — основной и вспомогательный. Первый устанавливают за пределами буровой вышки в безопасном месте, вспомогательный пульт, используемый для оперативного управления, находится в непосредственной близости от бурильщика. В конструкции превенторов предусматривается также ручное (аварийное) управление;

в) обвязка трубопроводами рабочего и аварийного выкидов скважины управляемыми задвижками, с помощью которых производится воздействие на скважину при проявлениях.

Противовыбросовое оборудование монтируют в проеме корпуса ПБУ, который перекрыт превенторной площадкой, служащей для монтажа и обслуживания устьевого оборудования.

Формирование устья скважины на морских нефтяных месторождениях начинается с установки водоотделяющей колонны. Она предназначена для изоляции скважины от водной среды, начиная от морского дна до превенторной площадки. Водоотделяющая колонна заглубляется в морское дно до плотных, не фильтрующих грунтов вибратором или дизельмолотом. Практически это заглубление не превышает 25—30 м. В верхней части водоотделяющая колонна крепится к корпусу несколько выше уровня превенторной площадки тросовыми оттяжками, которые натягиваются талрепами. В зависимости от глубины моря конструкция водоотделяющей колонны в целях обеспечения прочности и жесткости может состоять из двух-трех концентрически расположенных труб, зазоры между которыми за-

ливают цементным раствором. Конструкция водоотделяющей колонны и ее расчет приведены в [33].

Кроме перечисленных видов оборудования, необходимых непосредственно для проводки скважин, на ПБУ имеются также аппаратура и приборы для исследования физико-химических и механических свойств бурового и цементного растворов, кернов выбуренной породы.

На современных плавучих буровых установках в качестве электроприводов основных механизмов бурового и технологического оборудования, таких как буровая лебедка, ротор, буровые насосы, цементировочные насосы и каротажная лебедка, большей частью применяются электродвигатели регулируемого постоянного тока.

Выше приведены основные виды оборудования, используемого при проводке нефтяной или газовой скважины. Кроме перечисленной номенклатуры механизмов и агрегатов, на плавучей буровой установке необходимо предусматривать комплекты бурильных и обсадных труб, бурового инструмента, а также запасы технологических материалов.

§ 2. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Учитывая автономность плавучей буровой установки, на ней должны быть предусмотрены площади, помещения и емкости для размещения и хранения следующих материалов:

комплекта бурильных труб на проектную глубину скважины;

комплекта бурового и другого инструмента соответствующих типов и размеров для проводки скважины принятой конструкции в осложненных условиях;

комплекта обсадных труб для одной из колонн наибольшей по массе или объему, занимаемому на платформе при хранении; бентонита, применяемого для приготовления бурового раствора;

барита, используемого для утяжеления бурового раствора, т. е. регулирования его плотности в зависимости от пластового давления;

химических реагентов для обработки бурового раствора с целью предотвращения коагуляции суспензии.

Количество барита, бентонита и химических реагентов для приготовления бурового раствора требуемого качества зависит от способа (роторный или турбинный) и режима бурения и может быть рассчитано для каждого конкретного случая.

Учитывая возможность выбросов и открытого фонтанирования в процессе вскрытия нефтегазоносных пластов на вновь разведываемых площадях, необходимо до начала бурения иметь необходимый запас бурового раствора (табл. 14) [25].

В некоторых случаях, когда имеется информация об отсутствии аномальных условий (высокое пластовое давление, газо-

Таблица 14

| Буровая установка | Глубина бурения, м | Запас раствора, м ³ |
|-------------------|--------------------|--------------------------------|
| БУ-50 и БУ-80 | 2500 | 90 |
| БУ-100 | 3000 | 120 |
| БУ-125 | 4000 | 150 |
| БУ-160 | 5000 | 180 |
| БУ-200 | 6500 | 240 |
| БУ-250 | 8000 | 300 |

вые и газоконденсатные месторождения и т. д.), допускается снижение резервного объема раствора, о чем указывается в геолого-техническом наряде.

На плавучих буровых установках обычно соблюдаются приведенные в табл. 14 нормы. В табл. 15 даны запасы порошко-

Таблица 15

| Наименование материалов | Плавучие буровые установки | | | |
|---------------------------------|----------------------------|---------------|--------|---------|
| | «Апшерон» | «Азербайджан» | «Баки» | «Хазар» |
| Буровой раствор, м ³ | 60 | 200 | 310 | 300 |
| Барит и бентонит, т | 120 | 300 | 450 | 450 |

образных материалов (барита и бентонита) и бурового раствора, принятые на действующих ПБУ.

Сухой цемент предусматривается в количестве, необходимом для цементирования одной обсадной колонны наибольшего объема. На плавучих буровых установках «Апшерон», «Азербайджан», «Хазар» и «Баки» предусмотрены запасы сухого цемента бурения скважин на морских месторождениях наиболее доступной и дешевой жидкостью для приготовления бурового раствора является морская вода. Однако превышение содержания минеральных солей, особенно NaCl, может привести к ухудшению качества раствора, поэтому морскую воду рекомендуется использовать при пониженной солености ее. Морская вода Каспийского моря обладает меньшей соленостью по сравнению с водами открытых морей, удовлетворяет требованиям и успешно применяется при приготовлении бурового и цементного растворов.

Так как плавучие буровые установки рассчитаны для работы на всех акваториях шельфовых зон страны, где минеральный состав воды может быть не вполне пригоден для приготовления бурового и цементного растворов, в конструкции ПБУ должны

быть предусмотрены установки для опреснения морской воды. Производительность установки должна обеспечить суточный расход опресненной воды. На ПБУ «Баки» опреснительная установка рассчитана на 20 м³ воды в сутки.

Запасы других видов материалов (горюче-смазочные материалы, нефть для производства нефтяных ванн и др.), в том числе и для технологических нужд, приведены в главе I.

§ 3. БУРОВОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПБУ

При проектировании плавучих буровых установок «Апшерон» и «Азербайджан», особенно при выборе и компоновке бурового и технологического оборудования, было признано целесообразным использование только серийно выпускаемого оборудования отечественного производства. Такой подход преследовал цель сокращения сроков разработки и изготовления, накопления опыта создания ПБУ, а также всестороннего выявления показателей и эффективности работы плавучих буровых установок самоподъемного типа в гидрометеорологических условиях Каспийского моря при достигнутых коммерческих скоростях бурения. При этом в конструкции отдельных узлов были внесены изменения, вызванные переводом механизмов бурового оборудования на электропривод, питаемый от единой электростанции судового типа.

Опыт эксплуатации первых ПБУ показал необходимость создания оборудования и систем, отвечающих современным требованиям. Учитывая это, при проектировании ПБУ «Баки» были разработаны и освоены промышленностью специальные комплекты оборудования технологического комплекса, к которым относятся:

комплект бурового оборудования «Урал-6600 ПЭ» с электроприводом постоянного тока;

буровая вышка, оснащенная механизмом АСП и рассчитанная на условия качки при транспортировке;

цементировочные агрегаты с приводом постоянного тока;

система пневмотранспорта с закрытой системой хранения;

система контроля за процессами бурения и цементирования;

каротажное оборудование.

При компоновке бурового и другого технологического оборудования на ПБУ исходят из того, чтобы по возможности сохранить традиционную группировку и расположение оборудования по степени взаимосвязи его отдельных элементов, выполняющих те или иные процессы при проводке скважины. Кроме того, учитываются также обеспечение нормальных условий работы оборудования, удобство работы буровой бригады и обслуживающего персонала, требования техники безопасности. Пред-

определяющим фактором рационального расположения бурового и технологического оборудования является максимальное использование площадей и объемов ПБУ.

Рассмотрим расположение технологического оборудования, а также площадей и помещений для хранения запасов материалов на плавучих буровых установках «Апшерон», «Азербайджан» и «Баку».

ПБУ «Апшерон»

В проекте ПБУ «Апшерон» в качестве бурового станка принят УБШ-1 с сохранением технической характеристики [10, 14], с внесением некоторых конструктивных изменений, вызванных заменой дизельного привода электрическим. Все буровое и технологическое оборудование размещено на трех ярусах: на подвышечном портале, на главной палубе установки, в трюмах корпуса.

На рис. 47 показано оборудование, расположенное на подвышечном портале. Это — вышка со всем ее оборудованием — кронблоком, талевым блоком и вертлюгом, приспособлением для крепления неподвижного конца каната, ротор с карданным валом, лебедка, коробка передач, редуктор с двигателями, компрессор с приводом, воздухосборник (на крыше рубки на подвышечном портале), пульт бурильщика, механизм подачи долота на забой. На портале размещена также лаборатория грунта.

На главной палубе размещено следующее оборудование (см. рис. 5): глиномешалка, гидромешалки, вибрационное сито, две гидроциклонные установки, мерные емкости, бункер для цемента, смесительная воронка и смесительный ящик. Кроме того, на главной палубе размещены также каротажный подъемник с приводом и лаборатория электрометрических работ. Расположение их против мостков обеспечивает обзор устья скважины и соблюдение высотных отметок расположения каротажного подъемника относительно устья скважины.

Вблизи каротажного подъемника находится основной пульт управления превенторами; вспомогательный пульт управления превенторами находится на буровой площадке, у поста бурильщика. Запас бурильных и обсадных труб размещен на главной палубе по обе стороны от мостков.

Желобная система для бурового раствора, идущего от скважины, размещена под порталом; она берет начало от вибросита и заканчивается у люка для стока раствора в емкость.

Все прочее технологическое оборудование размещено в трюмах: два насоса 9МГр с электроприводом для подачи глинистого раствора, два шламовых насоса, предназначенные для перекачки глинистого раствора и подачи воды к гидромешалкам. Здесь же установлен резервный электрокомпрессор

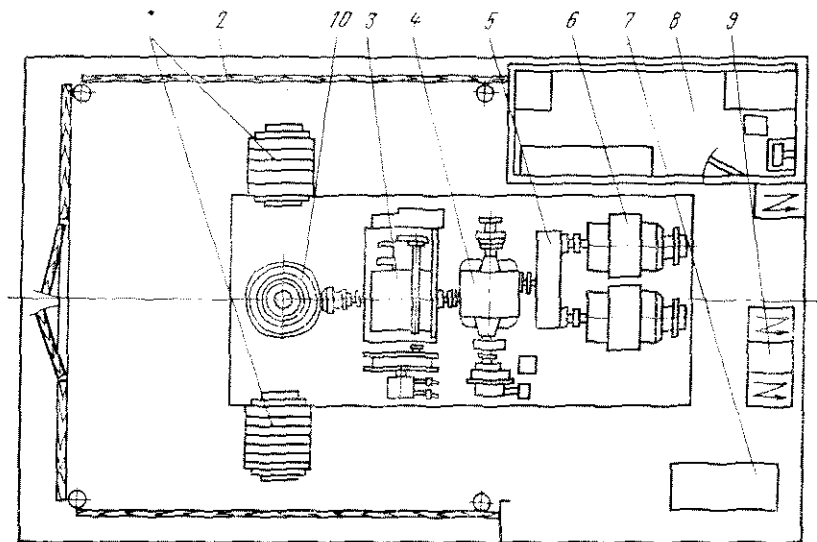


Рис. 47. Расположение технологического оборудования на подвижном портале ПБУ «Апшерон»:

1 — подвесники; 2 — вышка; 3 — буровая лебедка; 4 — коробка передач; 5 — редуктор; 6 — электродвигатели; 7 — компрессор; 8 — лаборатория грунтов; 9 — станция управления электродвигателями буровой лебедки; 10 — ротор

КСЭ-3М, питающий систему пневматического управления бурового станка сжатым воздухом.

Для обработки и утяжеления глинистого раствора на главной палубе рядом с глиномешалкой установлена гидромешалка, в которую глинистый раствор подается шламовым насосом. Сыпучие материалы (например, барит) загружают в гидромешалку с площадки, смонтированной у загрузочного люка, куда порошок в мешках подается стреловым краном.

Для приготовления цементного раствора во время крепления обсадных колонн на главной палубе размещены: три мерные емкости для воды по 3 м³ каждая; бункер для цемента объемом 20 м³; смесительные воронки, расположенные под бункером; смесительный ящик с сетчатой перегородкой.

Цементный раствор готовится обычным способом: цемент из бункера подается в смесительные воронки с соблюдением дозировки порошка. Вода поступает из водоподающего блока. Плотность раствора регулируется изменением количества воды, подаваемой в цементосмесители. Цементный раствор закачивается в скважину буровыми насосами 9МГр, всасывающий трубопровод которых связан со смесительным ящиком.

В трюмах расположены также емкости для хранения бурового раствора, помещение сыпучих материалов, площадь которого равна приблизительно 30 м², и помещение хранения хими-

ческих реагентов для углекислотной вытяжки площадью около 22 м².

На ПБУ «Апшерон», рассчитанной для бурения скважин глубиной 1800 м, предусмотрены запасы следующих технологических материалов, обеспечивающих бесперебойную работу установки при бурении структурно-посковской скважины проектной глубины:

| | |
|---|--|
| порошковой глины, т | 30 |
| гематита (или барита), т | 90 |
| бурого угля, т | 15 |
| бурового раствора, м ³ | 75 |
| углекислотной вытяжки, м ³ | 17 |
| цемента в бункерах, м ³ | 20 |
| цемента в мешках, т | 40 |
| воды, м ³ | 60 (из них пресной 30 м ³) |

Для удобства приема и выдачи сыпучих материалов в трюмах предусмотрены грузоподъемные средства — кранбалка и тельфер. Тельфер с электрическим приводом рассчитан на перемещение грузов до 3 т. Все другие грузоперевалочные операции на главной палубе производятся с помощью двух стреловых кранов грузоподъемностью 3 т, обслуживающих весь район палубы от вышки до каротажной станции.

ПБУ «Азербайджан»

На ПБУ «Азербайджан» принята буровая установка «Урал-маш 6Э-61» с электроприводом переменного тока, предназначенная для бурения скважин глубиной до 3000 м [10, 14]. Для обеспечения устойчивости вышки, монтируемой без оттяжек, принята вышка В1-300-53, укороченная на две (верхние) панели. Таким образом, общая высота вышки составляет около 43 м.

Как и на ПБУ «Апшерон», буровое и технологическое оборудование на ПБУ «Азербайджан» расположено в три яруса: на подвышечном портале, на главной палубе и в трюме.

На подвышечном портале размещены (рис. 48): вышка с ее оборудованием (кронблок, крюкоблок, вертлюг, лифт), приспособление для крепления неподвижного конца талевого каната, стояк, пневмоключ, подсвечник и др. Электропривод лебедки и компрессорная станция размещены на палубе надстройки вблизи подвышечного портала.

На главной палубе находятся: вибростол, гидромешалка, пульт управления превенторами и каротажное оборудование, а также желобная система бурового раствора.

В трюме находятся: буровые насосы с электроприводом, цементировочный насос с электродвигателем, насос 9МГр и

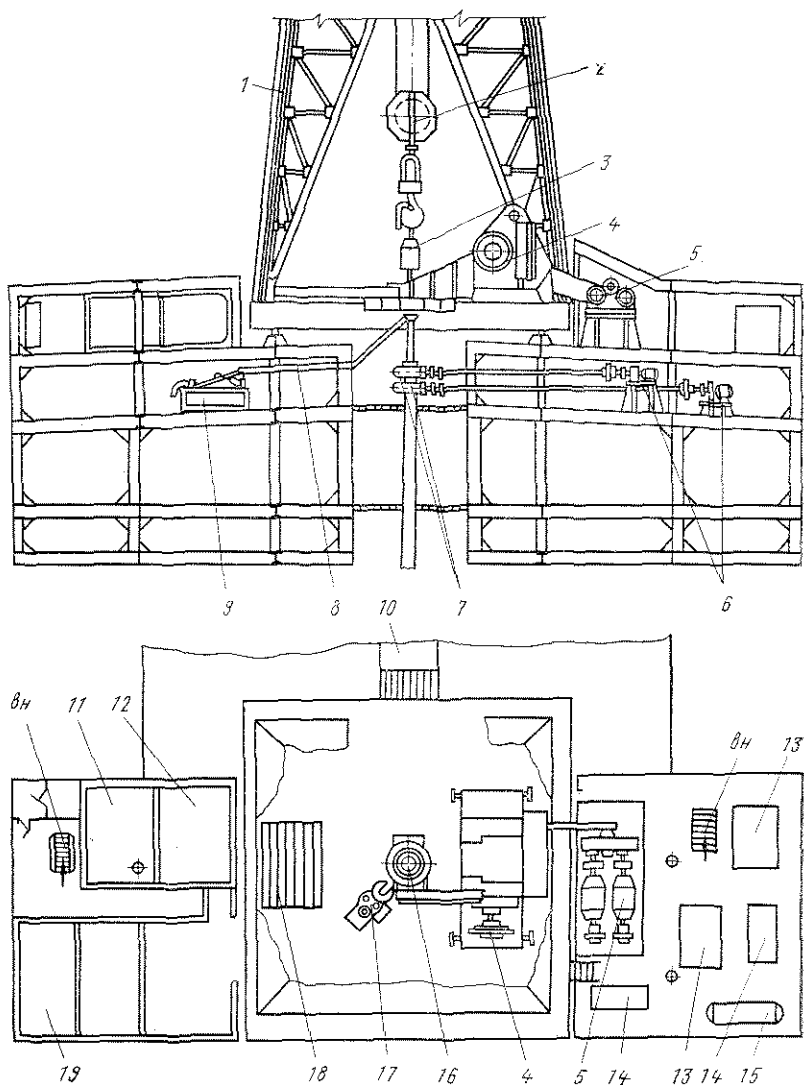


Рис. 48. Расположение технологического оборудования на подвышечном портале и под порталом ПБУ «Азербайджан»:

1 — вышка; 2 — крюкблок; 3 — вертлюг; 4 — буровая лебедка; 5 — привод буровой лебедки; 6 — пульта управления превенторами; 7 — превенторы; 8 — желобная система; 9 — вибросита; 10 — мостки; 11 — мастерская; 12 — аппаратная; 13 — станция управления двигателями буровой лебедки; 14 — компрессоры; 15 — воздухохранилище; 16 — ротор; 17 — автоматический ключ; 18 — подсвечник; 19 — лаборатория грунтов

шламовые насосы, бункер для цемента, емкость для хранения запасов глинистого раствора, воды и химических реагентов. Все перечисленное оборудование обвязано между собой трубопроводами в соответствии с технологическими системами, для которых они предназначены.

Как отмечалось выше, на ПБУ «Азербайджан» расположение буровой лебедки отличается от общепринятого, когда она устанавливается против мостков. Здесь ось барабана лебедки расположена параллельно оси мостков, с левой стороны от ворот, т. е. буровая лебедка находится в стороне от оси мостков. Это, естественно, вызвало изменение расположения всего внутривышечного оборудования. Опыт эксплуатации ПБУ «Азербайджан» показал, что это несколько не ухудшает условия работы бурильщика. Подтаскивание труб с мостков, укладка их и все другие операции внутри вышки протекают нормально, не вызывая никаких осложнений. Следует отметить, что описанное расположение буровой лебедки обусловлено расположением привода лебедки в укрытии у портала, что обеспечило более рациональное использование пространства вокруг портала. Это позволило максимально сократить размеры портала и всей установки в целом.

Приготовление глинистого раствора и нагнетание его в скважину производится в следующем порядке: порошкообразный материал из бункера поступает в воронку гидросмесителя, откуда готовый раствор насосом 9МГр или шламовым насосом подается в емкость, находящуюся в насосном отделении. Из этой емкости раствор может подаваться либо непосредственно в скважину насосом У8-4, либо в запасные емкости шламовым насосом ШН-150. Выходящий из скважины раствор после очистки от шлама в вибросите по желобной системе сливается в емкость. Для подогрева раствора в районах с низкими температурами предусмотрена электронагревательная установка ЭНУ, которая включена на нагнетательной линии насоса ШН-150, перемешивающего раствор в запасных емкостях.

Приготовление цементного раствора и нагнетание его в скважину осуществляется буровыми насосами У8-4, а продавка — цементировочным насосом 9Т. При приготовлении цементного раствора сухой цемент из бункера поступает в цементосмесительные воронки, расположенные под бункером, в которые одним из насосов У8-4 подается вода. Готовый раствор поступает в цементосмесительный ящик, откуда другим насосом У8-4 нагнетается в скважину. Процесс продавки осуществляется цементировочным насосом 9Т. Консистенция раствора регулируется изменением подачи воды.

ПБУ «Баки»

Буровое оборудование, примененное в составе ПБУ «Баки», имеет следующую характеристику:

| | |
|--|--|
| Максимальная грузоподъемность, т | 320 |
| Номинальная грузоподъемность, т | 200 |
| Глубина бурения, м | 6000 |
| Мощность привода, кВт: | |
| буровой лебедки | 1260 |
| буровых насосов | 2400 |
| ротора | 400 |
| Оснастка наибольшая | 6×7 |
| Диаметр талевого каната, мм | 37 |
| Скорость подъема крюка, м/с | 0,1—1,7 |
| Частота вращения ротора, об/мин | 10—200 |
| Привод буровой лебедки | Индивидуальный от двух двигателей постоянного тока |
| Привод ротора | Индивидуальный от двигателей постоян- ного тока |
| Максимальный крутящий момент, Н·м: | |
| при вращении бурильной колонны | 25000 |
| при статической нагрузке | 50000 |
| Буровой насос | У8-6М |
| Мощность привода, кВт | 800 |
| Максимальное давление, МПа | 25,0 |
| Максимальная подача, л/с | 49,7 |

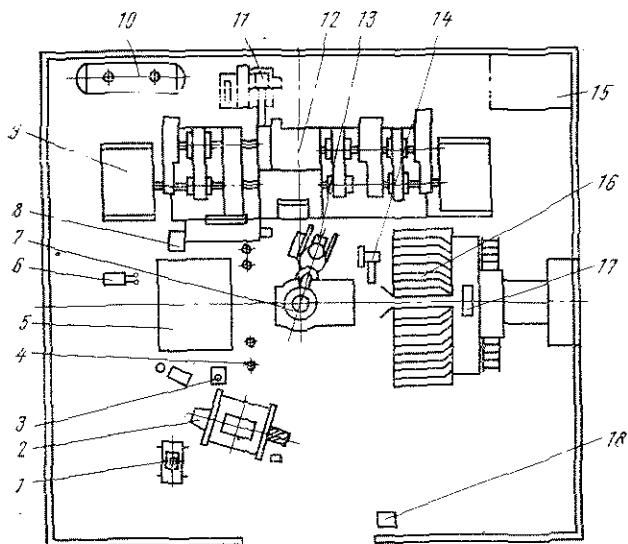


Рис. 49. Подвыщечный портал на ПБУ «Баки»

Все технологическое оборудование на установке размещено на подвыщечном портале, на главной палубе и в трюмах корпуса.

На подвыщечном портале (рис. 49) размещены: вышка с установленным на ней оборудованием (на рисунке не показана).

но), механизм крепления неподвижного конца талевого каната 1, вспомогательная лебедка 2, стойка для крепления машинных ключей 3, кассеты для установки УБТ 4, подсвечник для ручной расстановки свеч бурильной колонны 5, ограничитель подъема талевого блока 6, ротор УР560 7, главный пульт бурильщика 8, электродвигатель буровой лебедки 9, воздухохоборник 10, регулятор подачи долота РПДЭ-4 11, спуско-подъемный агрегат ЛБУ-1700 12, ключ АКБ-3М2 13, пневмораскрепитель 14, приборная кабина 15, магазин автоматической расстановки свеч бурильной колонны 16, пульт управления спуско-подъемными операциями 17 и пульт управления вспомогательной лебедкой 18.

На буровой вышке установлены (рис. 50): кронблок 1, амортизаторы для правильной навивки каната на барабан лебедки, талевый блок, автоматический элеватор, вертлюг 3 (при ручной расстановке свеч вместо талевого блока и автоматического элеватора применяется крюкоблок 2), полати с механизмом расстановки свечей и механизмом захвата свечи 4, механизм подъема свечи, верхний шкив, монтажный блок, якорь, подвижный децентратор 5, нижний блок, укрытие, подвески машинных ключей, подсвечник, пневмораскрепители со стойкой для крепления каната машинных ключей, электрооборудование АСП-IV, пульт бурильщика.

На главной палубе размещены: блок рабочих емкостей циркуляционной системы общим объемом 120 м³; в каждой емкости, входящей в блок, смонтированы механические перемешиватели, предназначенные для перемешивания и диспергирования бурового раствора:

гидросмесители, обеспечивающие утяжеление и химическую обработку раствора; гидросмеситель создает давление до 40 кгс/см², имеет четыре сменные насадки диаметрами 16, 20, 30 и 40 мм; диаметр гидромонитора 50 мм;

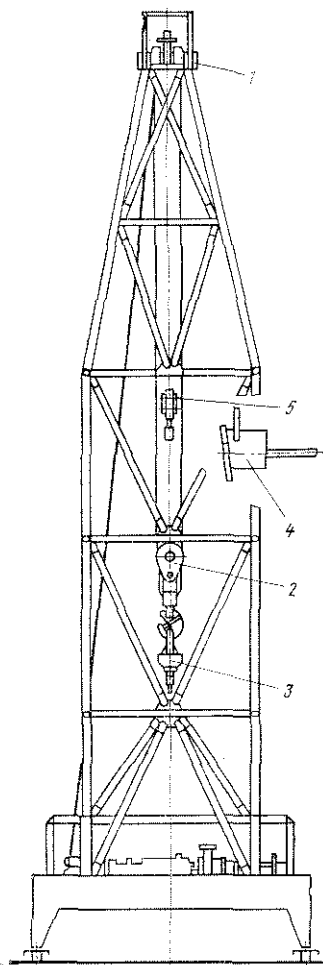


Рис. 50. Вышка ПБУ «Бакы»

шламовые насосы для подачи воды или раствора в гидросмесители;

сдвоенное вибросито для очистки раствора от выбуренной породы производительностью 50—60 л/с;

дегазатор вакуумного типа, предназначенный для очистки раствора, вынесенного из скважины, от растворенного в нем газа;

противовыбросовое оборудование, состоящее из превенторов с колонным фланцем, гидроуправления превенторами и задвижками, манифольда, аварийного (ручного) привода и маслоприводов; в состав превенторной установки входят: один универсальный превентор и два плашечных; в нижнем превенторе плашки глухие, а в верхнем — трубные.

Противовыбросовое оборудование устанавливается на превенторной площадке в проеме корпуса, под порталом. Гидроуправление превенторами и задвижками манифольда выполнено в виде двух пультов: основного, располагаемого вне буровой, и вспомогательного, находящегося в непосредственной близости от рабочего места бурильщика. С основного пульта производится управление плашечными превенторами и задвижками (открытие и закрытие), а также закрытие универсального превентора. Вспомогательный пульт используется для оперативного управления превенторной установкой.

В трюмах расположены (см. рис. 7):

а) в насосном отделении — три буровых насоса У8-6М с электроприводом; два шламовых насоса; насос 9МГр для перемешивания раствора;

б) в отсеке запасных емкостей бурового раствора — запасные емкости с механическими и гидравлическими перемешивателями, бункер-весы и разгрузочные бункеры.

Оборудование для пневмотранспорта и хранения порошкообразных материалов, размещенное в трюме, предназначено для приема порошкообразных материалов (барита, бентонита и цемента), хранения этих материалов в герметичных бункерах и подачи их в соответствующие агрегаты для приготовления бурового и цементного растворов (рис. 51). В состав оборудования входят: бункеры хранения, бункер-весы, разгрузочные бункеры и циклоны, связанные между собой трубопроводами с запорной арматурой по определенной технологической схеме, а также контрольно-измерительные приборы.

Порошкообразные материалы подают в бункеры с помощью сжатого воздуха (рис. 52). Бункеры снабжены резиновыми грибками для аэрации порошка. Аэрированный материал (смесь воздуха и порошка с высокой концентрацией последнего) по трубопроводу поступает в разгрузочный бункер, где воздух отделяется от порошка. Наиболее легкие частицы порошка вместе с воздухом поступают в циклоны, где воздух очищается от пыли и выпускается в атмосферу. Накопившийся в циклонах

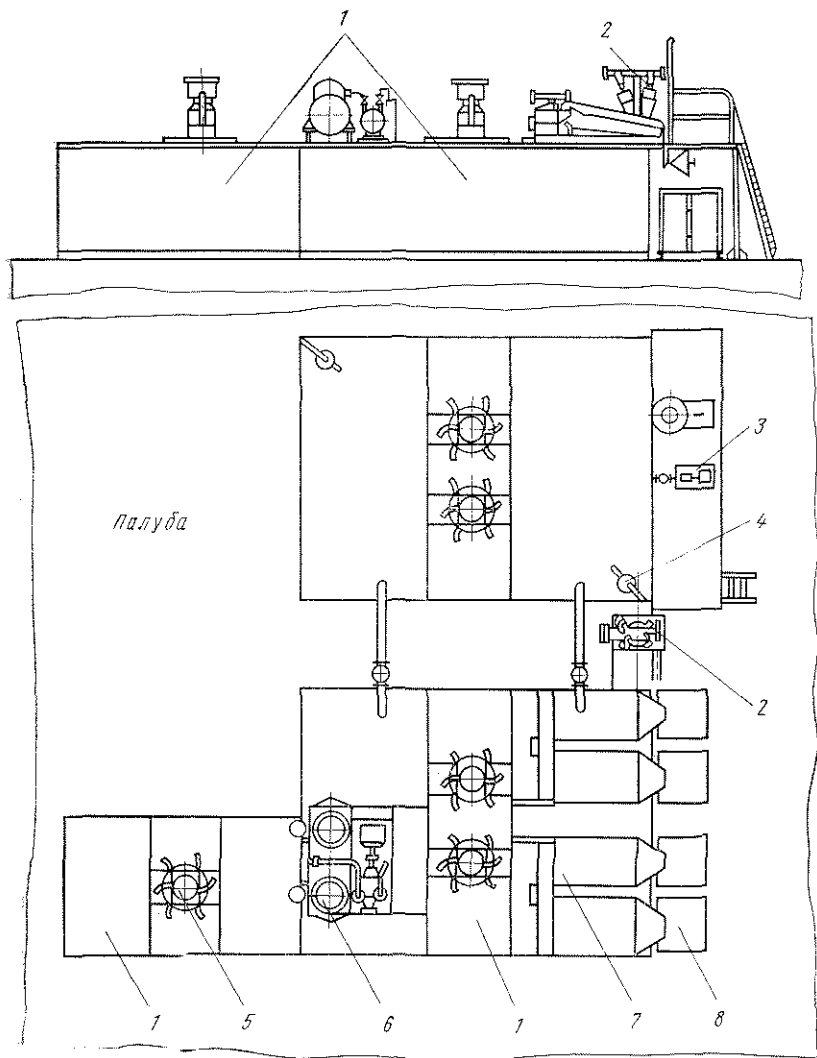


рис. 51. Оборудование для приготовления бурового раствора:
 1 — сыпучий пересыпатель; 2 — пескоотделитель; 3 — шламовый насос; 4 — гидравлический привод; 5 — механический перемешиватель; 6 — вакуумный дегазатор; 7 — виброраздатчик; 8 — контейнер для шлама

порошок периодически выгружается в мешок и подается на склад сыпучих материалов для использования. Масса поступающего материала и его расход контролируются с помощью бункер-весов.

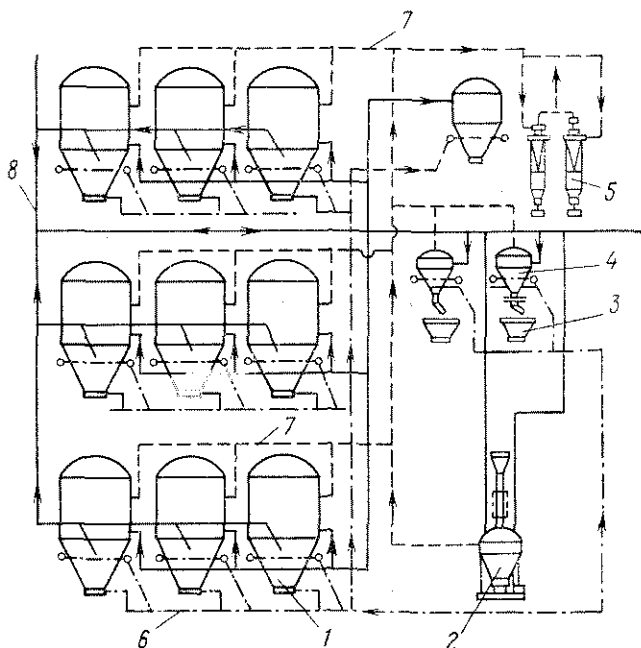


Рис. 52. Система присма, хранения, транспортирования порошкообразных материалов:

1 — бункеры для хранения барита, бентонита, цемента; 2 — бункер-весы; 3 — гидросмесители; 4 — разгрузочные бункеры; 5 — циклоны; 6 — трубопроводы сжатого воздуха; 7 — трубопроводы для вентиляции; 8 — трубопроводы порошкообразных материалов

Трубопроводы системы пневмотранспорта выполнены так, чтобы обеспечить подачу порошкообразных материалов из любого бункера к технологическому оборудованию (для приготовления бурового и цементного растворов, а также перемещения их между бункерами).

| | |
|--|-----|
| Максимальная производительность установки, т/мин: | |
| при транспортировке барита | 2 |
| » бентонита | 1 |
| » цемента | 3 |
| Избыточное давление воздуха, МПа | 0,3 |
| Наибольший расход воздуха, м ³ /мин | 24 |
| Влажность порошкообразных материалов, %: | |
| барита и цемента | 2-8 |
| бентонита | 2-8 |

Для приготовления бурового раствора бентонит или барит подают из разгрузочного бункера в гидросмесители, откуда раствор поступает в рабочие или запасные емкости.

Цементировочное оборудование на ПБУ «Баки» представляет собой самостоятельный комплекс, который включает на-

сосные агрегаты, установку для приготовления раствора, мани-фольд и центральный пульт управления процессами цементирования.

Цементировочное оборудование размещено в трюме среднего понтона вблизи проема в корпусе и состоит из трех насосов 11Т и одного насоса 4Р-700, имеющих следующие параметры:

| | 11Т | 4Р-700 |
|--|--------|--------|
| Подача, л/с: | | |
| минимальная | 6,50 | 3,76 |
| максимальная | 25,40 | 16,00 |
| Давление, МПа: | | |
| максимальное | 40,3 | 70,0 |
| минимальное | 10,7 | 16,4 |
| Мощность, отбираемая на валу, кВт | 320 | |
| Номинальные пределы регулирования частоты вращения, об/мин | 50—100 | |
| Напряжение, В | 440 | |

Цементный раствор готовится на специальной установке, составляющей неотъемлемую часть цементировочного комплекса. В состав установки входят: две цементомешалки (рис. 53), приемный бак, водоподающий блок и разгрузочный бункер. Емкость бункера 3,25 м³ определена из условия минутного расхода сухого цемента, что составляет 3 т. Бункер имеет выпускное отверстие, в котором установлен поворотный шибер, регулирующий расход цемента. Под шибером размещен распре-

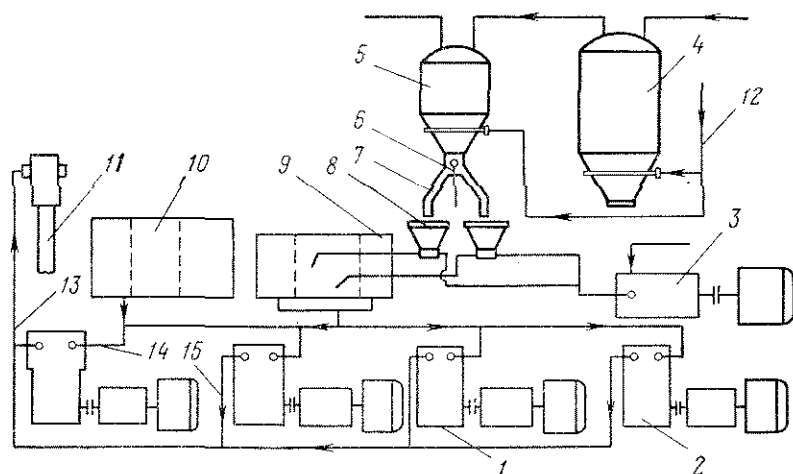


Рис. 53. Цементировочное оборудование ПБУ «Бакы»:

1 — цементировочный агрегат с насосом 11Т; 2 — продающий насос; 3 — водоподающий блок; 4 — бункер хранения цемента; 5 — бункер разгрузки; 6 — шиберные заслонки; 7 — распределитель цемента; 8 — цементосмесительная воронка; 9 — приемная емкость цементного раствора; 10 — мерная емкость для продающего раствора; 11 — устье скважины; 12 — воздухопровод; 13 — цементопровод; 14 — всасывающий трубопровод; 15 — нагнетательный трубопровод

делитель, направляющий поток сухого цемента в цементомешалки в любом сочетании — в одну, в другую или в обе.

Ниже приведена характеристика установки по приготовлению раствора.

| | |
|---|------|
| Производительность установки по раствору, л/с | 40 |
| Производительность водоподающего блока, л/с | 25 |
| Максимальный напор водоподающего блока, МПа | 2,45 |
| Мощность водоподающего блока, кВт | 125 |
| Расход сухого цемента, т/мин | 3,0 |

Для приготовления цементного раствора необходимо наполнить разгрузочный бункер цементом, открыть заслонку шибера, направить поток цемента в ту или иную цементомешалку или в обе. Одновременно в цементомешалку подается вода из водоподающего блока. В случае необходимости, т. е. когда требуется изменение плотности цементного раствора, в нагнетательную линию цементомешалки подается вода по отдельному водопроводу, специально предусмотренному для разбавления раствора. Полученный цементный раствор подается в осреднительную емкость, откуда забирается цементировочными насосами.

Каротажное оборудование, состоящее из подъемника с электроприводом и автоматической лаборатории, размещено в специальном помещении рубки третьего яруса.

Каротажный подъемник оснащен аппаратурой, обеспечивающей непрерывный автоматический контроль основных параметров: скорости перемещения кабеля, натяжения его, глубины спуска аппаратуры и т. д. Привод подъемника — электродвигатель постоянного тока. Автоматическая каротажная лаборатория типа АКС/Л-7. Диапазон скоростей перемещения кабеля составляет от 100 до 8000 м/ч.

Для предотвращения загрязнения моря предусмотрен вывоз шлама на берег. С этой целью у вибросит, в зоне обслуживания крана установлены специальные контейнеры, в которые собирается шлам для последующего отправления на береговую базу.

Как отмечалось выше, ограниченность площадей и объемов на ПБУ обуславливает ряд особых требований к технологическому оборудованию, например долговечность, минимальные габаритные размеры и масса. Эти требования вытекают также из недопустимости простоя столь дорогостоящего сооружения. Поэтому многие виды технологического оборудования для ПБУ «Баки» разработаны и освоены специально для удовлетворения этих требований, что дало возможность создать плавучую буровую установку, стоящую на уровне лучших мировых образцов.

Глава VIII

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА. СИСТЕМЫ И ТРУБОПРОВОДЫ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПБУ

Энергетические установки (ЭУ) различных типов ПБУ представляют собой комплекс основных и вспомогательных механизмов, предназначенных для обеспечения энергией всех потребителей, выполняющих операции по проводке скважин, постановке и снятию с точки бурения, переходу, а также для обеспечения бытовых нужд команды.

Кроме указанного, ЭУ самоходных ПБУ должны обеспечить энергией движители. Все построенные и спроектированные ЭУ являются теплосиловыми и имеют в своем составе тепловые двигатели и устройства для преобразования тепловой энергии сгорания топлива в механическую или электрическую.

Механизмы технологического комплекса ПБУ выполняются, как правило, с индивидуальным электроприводом. Поэтому энергетическая установка представляет собой электростанцию, состав и мощность которой определяются мощностью потребителей при различных режимах работы установки.

В качестве первичных двигателей генераторов электрического тока большинства ПБУ приняты дизели или другие двигатели внутреннего сгорания. На некоторых установках в качестве первичных двигателей применяются газовые турбины (ГТ). Электростанция ПБУ состоит из основных дизельгенераторов (ОДГ), предназначенных для обеспечения основных эксплуатационных режимов работы, и вспомогательных дизельгенераторов (ВДГ) для работы ПБУ в режимах, при которых незначительно потребляется мощность. Кроме того, в состав ЭУ входят: вспомогательное оборудование обслуживания первичных двигателей с трубопроводами и цистернами запаса топлива, масла и воды, вспомогательные и утилизационные котлы, опреснительные установки, средства автоматического и дистанционного управления, теплообменные аппараты и другие устройства.

ЭУ обслуживается также механизмами и общесудовыми системами: пожарной, балластно-осушительной, водоснабжения, вентиляции и др. Механизмы указанных систем, как правило,

располагаются в помещениях, где установлены ОДГ и ВДГ. Механизмы технологического оборудования, являющиеся потребителями энергии, вырабатываемой ЭУ, располагаются в других специальных помещениях и открытых пространствах ПБУ.

§ 2. ВЫБОР ТИПА ПЕРВИЧНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Потребляемая мощность изменяется в широких пределах и зависит от параметров установки, глубины моря, глубины бурения и режима работы. На выбор типа единичной мощности и количества первичных двигателей существенно влияют род тока и система электроснабжения главных и вспомогательных механизмов технологического оборудования.

При назначении типов двигателей и определении их числа и мощности учитываются следующие элементы двигателей и ЭУ:

число и мощность двигателей, необходимых для привода основных генераторов; суммарная мощность основных двигателей; суммарная масса основных двигателей и генераторов; моторесурс основных двигателей; удельный расход топлива основных двигателей; удельная масса основных двигателей и генераторов (масса, приходящаяся на производство единицы мощности, кг/кВт); число и мощность вспомогательных двигателей для привода вспомогательных генераторов; мощность аварийного двигателя; тип, число и производительность вспомогательных и утилизационных котлов; тип, число агрегатов и производительность опреснительной установки; площадь, занятая механизмами в помещениях энергетической установки (в процентах к общей площади), или удельная мощность электростанции, приходящаяся на 1 м² площади, кВт/м².

Двигательные агрегаты, применяемые для ЭУ, должны удовлетворять правилам Регистра СССР, изготавливаться и монтироваться под его надзором. Исключения могут составлять агрегаты, используемые только для привода технологического оборудования, однако отдельные элементы этих агрегатов (сосуды под давлением, топливные цистерны, расположение газоразводного трубопровода) также находятся под надзором Регистра.

В табл. 16 приведен пример выбора основного оборудования энергетической установки ПБУ «Баку», у которой режимы работы и потребляемая мощность (в кВт) имеют следующие проектные данные: ходовой режим 141; подъем корпуса 1523; стояночный 200; бурение 2640; цементирование 2700.

Для определения оптимального варианта может быть рекомендована количественная оценка сопоставимых показателей методом нахождения относительного коэффициента по каждому показателю $K_{п}$ и относительного коэффициента варианта $K_{в}$.

Таблица 16

| №№ п/п | Наименование | I вариант | II вариант | III вариант | IV вариант |
|--------|--|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | Тип основных дизельгенераторов | 6ДГ50М | ДГР 1000/750 | ДГР 1500/703 | 18ДГ и 22ДГ |
| 2 | Число и мощность в кВт основных дизельгенераторов | 6×600 | 4×1000 | 3×1500 | 3×940 и 3×800 |
| 3 | Суммарная мощность основных дизельгенераторов, кВт | 3600 | 4000 | 4500 | 5220 |
| 4 | Суммарная масса основных дизельгенераторов, т | 135 | 96 | 75 | 101,7 |
| 5 | Моторесурс основных дизельгенераторов, ч | 30 000 | 30 000 | 20 000 | 25 000 и 30 000 |
| 6 | Удельный расход топлива основных дизельгенераторов, г/кВт·ч | 225±5% | 218±5% | 234±5% | 204±5% |
| 7 | Удельная масса основных дизельгенераторов, кг/кВт | 37,5 | 24 | 16,7 | 19,5 |
| 8 | Тип вспомогательных дизельгенераторов | ДГР 150/750 | ДГР 150/750 | ДГР 150/750 | ДГР 150/750 |
| 9 | Число и мощность в кВт вспомогательных дизельгенераторов | 1×150 | 2×150 | 2×150 | 2×150 |
| 10 | Тип вспомогательных и утилизационных котлов | КВА 1/5 и КУП 17/5 | КВА 1/5 и КУП 55/5 | КВА 1/5 КУП | — |
| 11 | Число и производительность в т/ч вспомогательных утилизационных котлов | 1×1000 и 6×250 | 1×1000 и 4×400 | 1×1000 и 3×500 | 1×1000 и 3×500 |
| 12 | Тип опреснительной установки | Д-5 | Д-5 | Д-5 | Д-5 |
| 13 | Число и подача в т/ч опреснительных агрегатов | 2×20 | 2×20 | 2×20 | 2×20 |
| 14 | Площадь, занятая механизмами в помещении основных дизельгенераторов, % к общей площади | 45 | 33 | 25,6 | 39 |

Оптимальный вариант определяется сравнением относительных коэффициентов вариантов, которые находятся как произведение относительных коэффициентов показателей.

Для нахождения K_n принимают за единицу лучший параметр данного показателя (например, в табл. 16 в строке 4 за единицу принимается 75 — III вариант, в строке 5 — 30 000 — II вариант). Коэффициент K_n определяется произведением значений K_n по каждому варианту. Расчет оптимального варианта для рассмотренного примера ПБУ «Баки» показан в табл. 17.

Как видно из табл. 17, оптимальным вариантом по наиболь-

Таблица 17

| Номер строки по табл. 16 | Значение коэффициентов K_n по вариантам | | | |
|--|---|------|------|------|
| | I | II | III | IV |
| 4 | 0,85 | 0,77 | 1,0 | 0,75 |
| 5 | 1,0 | 1,0 | 0,67 | 0,83 |
| 6 | 0,91 | 0,94 | 0,87 | 1,0 |
| 7 | 0,45 | 0,7 | 1,0 | 0,9 |
| 14 | 0,57 | 0,74 | 1,0 | 0,65 |
| Относительный коэффициент варианта K_b | 0,13 | 0,37 | 0,58 | 0,36 |

шему значению коэффициента K_b является III, который при прочих равных условиях следует в данном примере принять для ЭУ.

В последнее время проводятся работы по применению газовых турбин в качестве первичного двигателя ЭУ. Целесообразность использования газотурбинной установки стала очевидной после появления высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов.

В нефтяной промышленности широко используются газовые турбины в качестве привода насосов, компрессоров и другого оборудования. Впервые на плавучей буровой установке газовая турбина применена в 1966 г. при постройке «Риг 11» компанией «ТуАр Дриллинг» [48]. В этой установке каждая из трех газовых турбин через понижающий редуктор приводит во вращение два генератора постоянного тока. Сопоставительный анализ ЭУ показывает, что газовая турбина обладает высокой экономичностью при полной и особенно при частичных нагрузках, возможностью изменения мощности при постоянной температуре цикла, простотой системы водоподготовки [32].

Особый интерес для ЭУ представляет возможность работы газовой турбины при частичных нагрузках во время спуска или

подъема бурильной или обсадной колонны (нагрузка изменяется в весьма широких пределах). Применение дизельного привода ЭУ в указанных режимах вызывает существенные затруднения в эксплуатации и резко снижает моторесурс двигателей. Для морских буровых установок особое значение имеет возможность работы газовых турбин на любых видах топлива ввиду сложности доставки последнего.

Окончательно основные элементы ЭУ выбирают путем всесторонней оценки всех параметров, сроков проектирования и строительства, числа планируемых к постройке установок и реальных возможностей поставки.

§ 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Вспомогательное оборудование ЭУ предназначается для обеспечения работы первичных двигателей на всех режимах работы, а также нормального функционирования всех систем и устройств ПБУ. Оборудование, которое участвует в обеспечении безопасности плавания и взрыво- и пожаробезопасности в рабочем положении, должно удовлетворять правилам Регистра СССР [28].

Конструкция и размещение вспомогательного оборудования ПБУ, обеспечивающего безопасность плавания, в основном не отличаются от таковых на водоизмещающих судах.

Требование к взрыво- и пожаробезопасности вспомогательного оборудования не включено в действующие правила [28]. Поэтому при проектировании этого оборудования учитывается опыт конструирования и эксплуатации, а также требования, содержащиеся в правилах зарубежных классификационных обществ.

Из всех общесудовых систем на ПБУ существенное отличие имеет система снабжения забортной водой. Это отличие состоит в необходимости обеспечивать потребителей забортной водой на плаву и в рабочем положении. Один из вариантов системы снабжения забортной водой представлен на рис. 54.

Подача забортной воды в рабочем положении осуществляется погружными насосами 1, установленными в шахте корпуса 2 и опускаемыми ниже уровня воды. Погружными насосами вода через телескопические устройства 3 подается в расходную цистерну 4, которая является отсеком корпуса, ограниченным днищем 5 и палубой 6.

На днище расходной цистерны установлен приемный кингстон 7 и на переборке — приемные клапаны 8, 9 и 10.

Переборка 11 выполнена с зазором у главной палубы и отделяет сливную цистерну 12 от расходной цистерны 4. На этой переборке установлена клинкетная задвижка 13 с механическим приводом, выведенным за пределы цистерны.

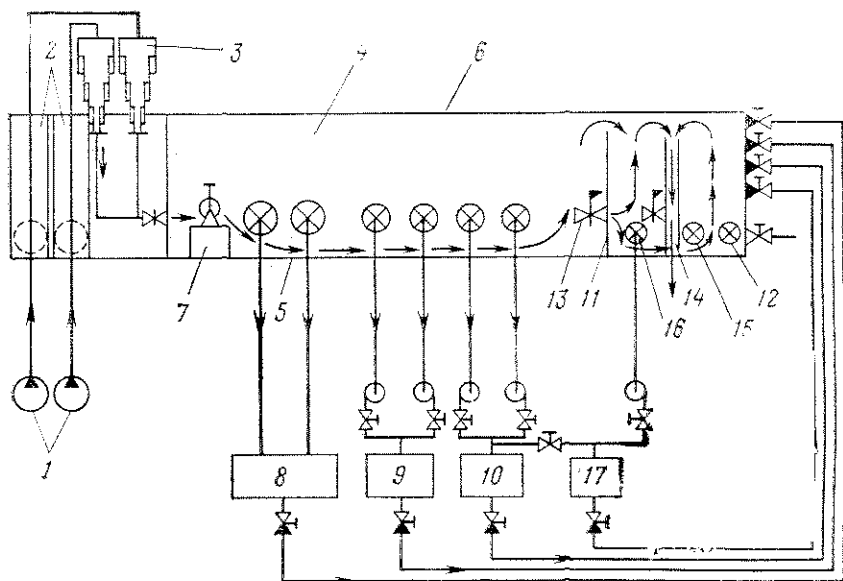


Рис. 54. Система снабжения ПБУ забортной водой

Сливная цистерна содержит вертикальную переливную трубу 14, верхний свободный конец которой располагается выше ватерлинии ПБУ при полной загрузке. К переборке сливной цистерны подключены приемные клапаны водопожарного и балластного насосов 15, 16 и потребители технологического оборудования. Выкидные линии от потребителей и водоопреснительной установки 17 соединены со сливной цистерной. В рабочем положении расходная цистерна заполняется водой погружными насосами, а на плаву через приемный кингстон возможна подача воды из цистерны к потребителям каждой из трех групп.

I группа. Вода подается насосами, приводимыми в действие механизмом-потребителем;

II группа. Потребители центральной системы, обслуживаемые насосом большой производительности;

III группа. Потребители центральной системы, обслуживаемые насосом малой производительности.

Описанная система снабжения забортной водой дает возможность сократить число насосов на установке и создает условия для их рациональной загрузки. Наличие цистерны значительного объема позволяет осуществить рециркуляцию воды и обеспечивает безаварийную работу ЭУ при возможных кратковременных перерывах в работе погружных насосов. Объем расходной цистерны и минимальная производительность по-

грузных насосов определяются (кроме условий удовлетворения забортной водой ЭУ) потребностью водопожарной системы. Исходя из этой потребности, емкость цистерны должна обеспечивать подачу (без пополнения) воды при давлении не менее 0,3 МПа и производительности 2,7 л/с, а минимальная емкость цистерны должна быть не менее 10 м³. Такой объем выбирается для того, чтобы обеспечить достаточное время для включения погружных насосов.

Для обеспечения водопожарной системы производительность каждого погружного насоса должна превышать производительность водопожарных насосов. Расходная цистерна должна иметь сигнализацию о понижении уровня воды ниже допустимого, а в случае работы ПБУ в условиях низких температур — надежно защищаться от замерзания.

Общесудовые системы и трубопроводы ЭУ выполняются в соответствии с нормами, действующими в судостроительной промышленности, «Санитарными правилами для морских судов» и правилами Регистра СССР и в этой части системы ПБУ не отличаются от систем и трубопроводов других типов водоизмещающих судов.

В расчетах запасов учитывается потребность технологического оборудования, а соответствующие системы предусматривают подачу воды, пара, топлива, масла к потребителям технологического комплекса (например, пар или горячая вода к превенторам, вода и сжатый воздух для инструмента в помещении буровых и цементировочных насосов, на подвышечный портал и др.).

§ 4. РАЗМЕЩЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

По условиям взрыво- и пожаробезопасности ЭУ размещаются на возможно большем удалении от устья скважины. Приемные и выпускные отверстия вентиляционных труб помещений энергетической установки, а также газовыпускные трубопроводы двигателей должны быть удалены от опасных зон. Помещение ЭУ располагается обычно в трюме корпуса ПБУ так, чтобы были обеспечены доступ обслуживающего персонала непосредственно из жилой рубки, а выемка крупногабаритных узлов и двигателей — через отверстия в палубе при минимальном объеме демонтажных работ конструкций, установленных на главной палубе.

Управление энергетической установкой является частью системы управления ПБУ в целом и строится во взаимосвязи с другими системами управления (бурового и технологического оборудования, системы постановки на точку, бытовых систем и механизмов и системы обеспечения живучести). Управление собственно энергетической установкой, бытовыми системами,

Таблица 18

| Наименование объекта контроля и управления | Объем информации, поступающей на ПУ | Состав и объем управления |
|---|--|--|
| Двигательно-генераторные агрегаты, основные и вспомогательные | 1. Частота вращения 2. Температура и давление: охлаждающей воды, масла, топлива, наддувочного воздуха, газов в цилиндре двигателя и камере сгорания газовой турбины | 1. Пуск и остановка 2. Синхронизация при параллельной работе |
| Котлоагрегаты и система отопления | 1. Температура, давление и уровень воды в котлоагрегатах 2. Параметры системы горения | Остановка при нарушениях режима работы |
| Топливная система | Уровни топлива в цистернах основного запаса и расходных | Пополнение расходных цистерн, пуск и остановка насосов, открытие и закрытие арматуры |
| Масляная система | 1. Температура масла в холодильниках и нагревателях 2. Уровень масла в цистернах | 1. Количество теплоносителя в теплообменном аппарате 2. Пуск и остановка насосов |
| Противопожарная система | Пожарная система сигнализации | Пуск и остановка водопожарного насоса и других средств централизованного пожаротушения |
| Система вентиляции | Указатели газоанализаторов о концентрации газов в опасных зонах | Пуск и остановка вентиляторов |
| Система забортной воды | Уровень воды в расходной цистерне | Пуск и остановка погружных насосов. Управление арматурой |
| Балластно-осушительная система | 1. Уровень воды в льялах 2. Уровень воды в балластных отсеках | Пуск и остановка насосов, открытие и закрытие арматуры |
| Система сжатого воздуха | Давление в воздухо-сборниках | Пуск и остановка компрессора, открытие и закрытие арматуры |
| Система кондиционирования и рефрижераторная установка | Температура и давление теплоносителя | — |

механизмами и системой обеспечения живучести может объединяться в одну систему управления.

Пост управления (ПУ) энергетической установкой оборудуется в помещении установки и ограничивается звукоизолирующими выгородками. ПУ предусматривает постоянную вахту обслуживания и имеет громкоговорящую и телефонную связь со всеми возможными постами управления ПБУ. Поэтому, кроме контроля и управления работой энергетической установкой, ПУ должен обеспечивать работу и других систем ПБУ, что осуществляется соответствующими каналами информации и управления этими системами.

В табл. 18 приведены данные по системе управления ЭУ.

СУДОВЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Конструкция судовых и специальных устройств ПБУ должна обеспечивать нормальную работу установки во всех эксплуатационных режимах: транспортном, подъема и спуска корпуса и рабочем. При этом в каждом режиме участвуют определенные устройства. Эксплуатационные режимы ПБУ определяют требования, предъявляемые к конструкциям судовых и специальных устройств.

Переходы к месту бурения обеспечиваются буксирным, якорным, спасательным и движительным устройствами. Спасательные средства ПБУ на плаву при переходах выбираются из условия пребывания на ней минимального состава команды.

Подъему корпуса по опорным колоннам предшествуют наведение на точку бурения и удержание установки, выполняемое специальным устройством. В рабочем режиме прием грузов и людей осуществляется судовыми и специальными устройствами: швартовным для пересадки людей, устройством вертолетного обеспечения и грузовыми кранами. Особые требования предъявляются к спасательному устройству по эвакуации людей в аварийных ситуациях.

§ 1. ЯКОРНОЕ УСТРОЙСТВО

Якорное устройство ПБУ предназначается для удержания установки в аварийных или непредвиденных случаях, которые возможны при переходах. Якорное устройство ПБУ используется эпизодически.

Правила морского Регистра СССР не содержат требований к якорным устройствам ПБУ. Правила зарубежных классификационных обществ содержат отдельные, существенно отличные требования к якорным устройствам. Правила США [44] определяют, что якоря и якорные цепи выбираются в зависимости от характеристики, определяемой по формуле

$$N_c = 1,012\Delta^{2/3} + 0,186Bh + 0,00929A, \quad (\text{IX.1})$$

где N_c — характеристика снабжения; Δ — расчетное водоизмещение по летнюю грузовую ватерлинию, длинные тонны; B — расчетная ширина, футы; h — высота надводного борта по миделю или сумма высот (по борту) всех рубок, ширина кото-

рых больше 0,25 В, футы; А — площадь боковой проекции корпуса, надстроек и рубок над летней грузовой ватерлинией, ширина которых больше 0,25 В, кв. футы.

Получаемая по формуле (IX.1) характеристика снабжения определяет массу и размеры якорей и якорных цепей, устанавливаемых по табл. 7.3 Правил [44].

Для судов всех типов характеристика снабжения устанавливается по формуле [28]:

$$N_c = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0,1A, \quad (\text{IX.2})$$

где N_c , Δ , B , h и A — то же, что в выражении (IX.1) в метрических мерах (т, м, м²).

По полученной по формуле (IX.2) характеристике снабжения устанавливается масса каждого якоря Q (в кг)

$$Q = kN_c, \quad (\text{IX.3})$$

а также суммарная длина обеих якорных цепей для станových якорей l (в м)

$$l = 87r \sqrt[4]{N_c}, \quad (\text{IX.4})$$

и калибр цепей станových якорей d (в мм)

$$d = st \sqrt[4]{N_c}. \quad (\text{IX.5})$$

Здесь k , r и s — коэффициенты, зависящие от района плавания; t — коэффициент, зависящий от категории прочности цепи.

Расчеты характеристик снабжения и определение размеров и масс якорей и якорных цепей, выполненные для различных ПБУ по правилам [28, 44], дают тождественные значения для неограниченного района плавания. Для ограниченных районов плавания в [28] предусматривается уменьшение числа станových якорей, длины якорной цепи и массы якоря.

Практика конструирования и эксплуатации на Каспийском море отечественных ПБУ подтверждает достаточную надежность элементов якорного устройства, определенных по правилам [28]. Несмотря на эпизодическое использование якорного устройства ПБУ, заменять якорные цепи для станových якорей стальными канатами не рекомендуется. Большая длина стальных канатов вызывает необходимость установки крупногабаритных с большой канатоемкостью барабанов лебедок. Кроме того, при использовании стальных канатов для станových якорей лебедка должна обеспечивать постоянную регулировку натяжения каната, что существенно усложняет конструкцию.

Якорные механизмы ПБУ обеспечивают выполнение всех операций по постановке и снятию с якоря: отдачу якоря с помощью ручного тормоза и приводного механизма, отрыв якоря от грунта и выбирание якорной цепи.

Таблица 19

| ПБУ | Якорное устройство | | | | Швартовное устройство | | | | Букерное устройство | | |
|---------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|----------|--|-------------------|---------------------|-------------------|-------|
| | число якорей, шт./кг | общая длина якорной цепи, м | калибр якорной цепи, мм | тип якорного механизма | Трос | | Канаты | | длина троса, м | диаметр троса, мм | |
| | | | | | число | длина, м | диаметр, мм | диаметр тумбы, мм | | | число |
| «Апшерон» | 2/1250 | 425 | 34 | Электроручной шпиль | 4 | 360 | 19,5 | 300 | 6 | 400 | 21,5 |
| «Азербайджан» | 2/2000 | 500 | 46 | То же | 4 | 540 | 21,5 | 400 | 6 | 540 | 21,5 |
| «Хазар» | — | — | — | — | 5 | 200 | Капроновый канат, длина окружности 150 | 300 | 10 | 450 | 60 |
| «Баки» | 2/7500 | 500 | 86 | Устройство для отдачи | 3 | 200 | Капроновый канат, разрывное усилие 3-10 ⁵ Н | 360 | 12 | 500 | 65 |

По условиям размещения на установке наиболее приемлемы якорные механизмы с вертикальным расположением цепной звездочки, причем целесообразно выполнять цепные звездочки без швартовых барабанов, обычно применяемых у якорно-швартовых шпилей и используемых при швартовке.

Якорные клюзы располагаются преимущественно за пределами корпуса так, что палубный клюз размещается на уровне палубы, а транцевый клюз закрепляется на выносном кронштейне или в корпусе. Другие элементы якорного устройства: цепные стопоры, крепление по-походному, крепление коренного конца и устройства для отдачи выполняются обычной принятой для морских судов конструкции. Якорное устройство размещается преимущественно у транцевой переборки корпуса со стороны, противоположной установке буровой вышки. Основные параметры якорного устройства некоторых ПБУ приведены в табл. 19.

§ 2. ШВАРТОВНОЕ УСТРОЙСТВО

Основное назначение швартового устройства ПБУ — обеспечение швартовки судов обслуживания при рабочем положении установки, а также при положении на плаву. В рабочем положении суда швартуются к ПБУ, которая возвышается над уровнем воды, что в значительной степени определяет конструкцию устройства.

Согласно правилам [28] швартовное устройство и снабжение морских судов определяются в зависимости от характеристики снабжения, определяемой формулой (IX.2). При расчете характеристики снабжения величины, входящие в правую часть формулы (IX.2), следует принимать по параметрам судов обслуживания, которые предполагается применять для работы с ПБУ. Использование при расчете характеристики снабжения по указанной формуле параметров ПБУ приводит к неоправданно завышенным размерам деталей швартового устройства.

Размещение деталей швартового устройства выполняется из условий обеспечения швартовки судов обслуживания и в местах, предназначенных для приема и выдачи соответствующих грузов. Применяемые для постановки и снятия с точки бурения швартовые лебедки могут использоваться в качестве швартовых механизмов.

Основные параметры швартового устройства некоторых ПБУ приведены в табл. 19.

§ 3. СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Спасательные средства разделяются на средства, предназначенные для спасания людей при нахождении ПБУ на плаву, и на средства эвакуации людей с ПБУ в аварийной ситуации. На плаву ПБУ рассматривается как судно специального на-

значения и согласно правилам [29] должно иметь спасательные средства по нормам для промысловых судов. Если установка удовлетворяет определенным условиям деления на отсеки, спасательные средства могут приниматься по нормам для пассажирских судов.

В первом случае для неограниченного и ограниченного районов плавания с каждого борта устанавливаются спасательные шлюпки на 50% людей, находящихся на установке при переходе, и еще 50% людей должны обеспечиваться местами на спасательных плотках. Во втором случае взамен спасательных плотков допускается снабжение плавучими приборами (спасательные жилеты и др.), рассчитанными на 25% всех людей, находящихся на установке.

Численность команды при переходе, учитываемая при выборе состава спасательных средств, устанавливается типовым проектом, причем определяется минимальное число людей, необходимое только для обеспечения перехода.

Спасательные средства располагаются так, чтобы обеспечить свободный доступ к ним и исключить их повреждение при выполнении технологических операций. При наличии на установке вертолетной площадки спасательные шлюпки и плоты предпочтительно располагать под площадкой. Возможно размещение спасательных средств в других местах, расположенных вблизи жилой рубки.

Спускные устройства для спасательных средств, размещение и крепление спасательных приборов и установка спасательных средств должны удовлетворять требованиям, предъявляемым правилами [29].

Спасательные средства ПБУ для эвакуации людей при аварийной ситуации предназначены для спасания людей с ПБУ в рабочем положении. Условия эвакуации характеризуются повышенной пожароопасностью, очагом загорания, наличием распространяющейся по поверхности моря горящей нефти, а также значительным возвышением места высадки людей от уровня воды. Поэтому для эвакуации применяются спасательные средства, рассчитанные на весь персонал установки. Они должны обеспечивать защиту от огня, дыма и высокой температуры во время спуска на воду в зону огня, при прохождении зоны воспламенившейся на поверхности моря нефти. Управление спуском спасательного средства должно осуществляться изнутри средства.

Указанным условиям удовлетворяют спасательные шлюпки для нефтеналивных судов, построенные по правилам [29]. ПБУ отечественной постройки в основном снабжаются такими спасательными шлюпками. Если указанные средства по конструкции и размещению удовлетворяют правилам [29] для положения ПБУ на плаву, то для этого положения других спасательных средств не требуется.

Ввиду значительной массы спасательных шлюпок и сложной системы спуска их с установки на воду в настоящее время ведутся разработки и изготовление опытных образцов различных конструкций спасательных капсул. Например, фирма «Витакер» выпускает спасательные капсулы, изготовленные из огнестойкой пластмассы, армированной стеклопластиком. Купол капсулы обладает способностью отражать тепловое излучение. Капсула вмещает 28 человек, имеет место для хранения пищи и воды, спасательное оборудование, двигатель мощностью 40 л. с., аккумуляторную батарею и генератор. Спасательные капсулы размещают как можно дальше от устья скважины.

В качестве трапов для спуска на воду и подъема на ПБУ людей применяют сетки шириной 3—5 м из растительных канатов окружностью 75—90 мм с ячейками в виде квадратов со стороной 500—600 мм. Такая сетка спускается с палубы ПБУ в воду и служит как для подъема случайно попавшего в воду человека, так и для спуска с палубы людей на плавучее средство при аварийной обстановке.

§ 4. БУКСИРНОЕ УСТРОЙСТВО

Буксирное устройство ПБУ предназначается для буксировки установки, не имеющей собственного хода, и состоит из средств закрепления буксирного троса и самого буксирного троса.

Исходным условием при выборе конструкции устройства является определение разрывного усилия троса, запаса прочности, диаметра и длины. В соответствии с правилами [28] выбор буксирного троса определяется характеристикой снабжения по формуле (IX.2), а длина троса (в м) и его разрывное усилие (в Н) по формулам

$$l = 160 + 0,035N_e, \quad F = 0,588N_e.$$

Параметры троса, полученные по правилам [28] и другим правилам [44—47], достаточно близки. Однако при определении параметров троса по этим требованиям не учитываются скорость буксировки, влияние волнения и ветра, величина тяги буксира и динамическое взаимодействие системы. Поэтому для окончательного выбора размеров буксирного троса необходимо выполнить расчет сопротивления ПБУ движению, определить тягу, а также найти оптимальную длину троса, обеспечивающую амортизацию возникающих рывков.

Практика расчетов буксирного троса показывает, что длина его, получаемая по правилам [28], является минимальной и недостаточна для буксировки установки с оптимальной скоростью.

Сопротивление движению можно рассчитывать различными методами. Для ПБУ с прямоугольной в плане формой корпуса методика расчета дана в предыдущих главах. Диаметр и длина

буксирного троса определяются величиной буксировочного сопротивления и ожидаемой высотой волны при переходе. При выборе диаметра троса преимущественное значение имеет величина сопротивления, а при выборе длины троса — высота волны. Коэффициенты запаса прочности буксирного троса должны быть 5—8, причем для малых ПБУ следует брать большие значения коэффициента.

Длина буксирного троса должна обеспечивать необходимую «игру» (изменение величины провисания троса при буксировке на волнении от усилия рывка буксира), равную высоте волны; при этом усилия, возникающие в тросе, не должны превышать половины разрывного усилия.

Расчет выбора буксирного троса и скорости буксировки выполняется в следующем порядке:

по методике, изложенной в гл. II, рассчитывается буксировочное сопротивление для различных скоростей буксировки и строится кривая: $R_{\text{букс}} = f(v)$;

принимается коэффициент запаса прочности троса, определяется разрывное усилие и выбирается диаметр троса;

длина троса находится по графику (рис. 55);

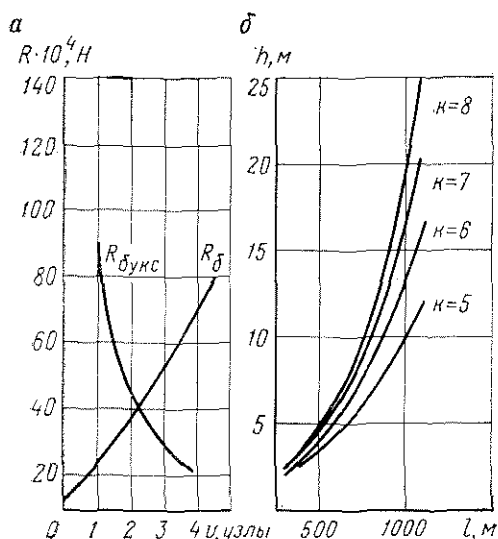


Рис. 55. Графики для расчета длины и диаметра буксирного троса:
 $a - R_{\text{букс}} = f(v); R_{\text{б}} = f(v);$
 $b - l = f(k, h)$

вычисляется тяга буксира $R_{\text{б}}(H)$ на различных скоростях:

$$R_{\text{б}} = 107,6 \cdot 10^4 \frac{N\eta}{v} \quad (IX.6)$$

где N — мощность гребной установки буксира, кВт; η — пульсивный к.п.д. буксира; v — скорость буксировки, узлы;

строится график $R_{\text{б}} = f(v)$, точка пересечения кривых сопро-

тивления движению и тяги буксира определяет величину скорости буксировки и усилия в тросе (рис. 55).

Определенные по указанной выше методике размеры буксирного троса не должны быть меньше устанавливаемых правилами [28].

Буксировка ПБУ на перегонах осуществляется одним или несколькими буксирами, располагаемыми в кильватере. Переходы в одном районе бурения при благоприятной погоде возможны при размещении буксиров «лагом» (буксир бортом пришвартован к борту ПБУ). Буксирное устройство для буксировки на переходах состоит из двух коренных полубраг, прикрепляемых на палубе у борта к устройствам для быстрой отдачи. Вторые концы соединительными скобами присоединяются к треугольному звену, к которому подведен буксирный трос. Угол между натянутыми концами полубраги должен быть 30—45°. Такое закрепление буксира обеспечивает лучшее удержание на курсе, что при прямоугольной форме корпуса ПБУ весьма существенно. Для буксировки «лагом» на палубе у бортов ПБУ устанавливают усиленные швартовные кнехты.

Хранение на установке буксирного троса, процесс закрепления его и передачи на буксир для буксировки на перегоне имеет ряд трудностей, приводящих к нецелесообразности установки на ПБУ специальных буксирных средств.

Учитывая малую частоту перегонов, следует считать рациональным оснащение ПБУ только полубрагой. Буксирный трос при этом должен храниться на береговой базе. Лучшее решение можно получить при подборе буксира, у которого размеры буксирного троса соответствуют требуемым для перегона ПБУ.

Основные параметры буксирного устройства некоторых ПБУ приведены в табл. 19.

§ 5. СИГНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Сигнальные средства ПБУ предназначены для информации судов и вертолетов и подразделяются на сигнальные средства при переходах и в рабочем положении. При переходах ПБУ должна иметь сигнальные средства, предусмотренные правилами [29]. Размещение этих сигнальных средств практически не отличается от размещения на морских судах. В рабочем положении ПБУ должна иметь сигнальные средства, устанавливающие ее габаритные размеры, и светотехническое оборудование для взлетно-посадочных площадок (ВППл) вертолетов.

Габаритный огонь красного цвета имеет угол освещения 360° и устанавливается в наивысшей точке ПБУ, обычно на буровой вышке и опорных колоннах. Якорные огни, носовой и кормовой, белого цвета располагаются так, чтобы обеспечить освещение на 360°.

Светотехническое оборудование ВППл обеспечивает обнаружение и визуальный выход вертолетов, указание направления вертолетам на посадку, обозначение границ и подсвет ВППл, обозначение и подсвет воздушных препятствий и обозначение ветроуказателя.

В комплект оборудования входят следующие элементы:

посадочные огни зеленого цвета; пограничные огни красного цвета; заградительные огни синего цвета; огни подсвета ВППл; приводной светомаяк; огонь подсвета ветроуказателя; световой указатель курса; пульт управления огнями.

§ 6. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСТАНОВКИ И СНЯТИЯ С ТОЧКИ БУРЕНИЯ

Устройство предназначается для постановки на точку бурения, определяемую заданными координатами и отмеченную вешками, установленными до прихода ПБУ, а также для снятия с места после завершения работ.

Устройство состоит из комплекта «А» — якорей, цепей, якорных бочек и якорных буев, подбираемых для ряда ПБУ с близкими размерами и хранящихся на базе, и комплекта «Б» — оборудования, устанавливаемого на ПБУ.

Размеры комплекта «А» определяются условиями постановки и снятия ПБУ: волнением моря не более трех баллов и силой ветра не более четырех баллов. При волнении моря установка будет совершать вертикальные вынужденные колебания, максимальная амплитуда которых составит $h_v/2$, где h_v — высота волны. Такие колебания вызывают рывки (динамические усилия), достигающие $1/6$ водоизмещения судна. Это может компенсироваться только за счет «игры» якорной цепи при условии, что в момент рывка горизонтальное усилие в якорной цепи не превысит держащей силы якоря и ПБУ не будет совершать дрейф.

На рис. 56 показано два положения установки, стоящей на якорях на глубине H . В положении I на судно действует только сила ветра Q_v , рассчитываемая по методам определения ветрового воздействия. При этом часть якорной цепи C будет лежать на грунте.

В момент рывка от волнения, когда горизонтальное натяжение якорной цепи равно держащей силе T_0 , судно займет положение II. Величина «игры» якорной цепи при увеличении горизонтального натяжения от Q_v до значения T_0 , как это видно из рис. 56,

$$\Delta_v = x_2 - (x_1 + C).$$

Из условия безопасной постановки и снятия ПБУ

$$\Delta_v \leq h_v/2$$

Принимаем, что при волнении три балла $h_b = 1,4$ м и $\Delta_B \approx \approx 0,7$ м.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a_1 \ln \frac{l_{II} + \sqrt{l_{II}^2 + a_1^2}}{a_1} \\ l_{II} &= H \sqrt{1 + \frac{2a_1}{H}} \\ x_2 &= a_2 \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + a_2^2}}{a_2} \\ C &= l - l_{II} \end{aligned} \right\} \quad (IX.7)$$

где $a_1 = Q_B/q$ — ордината морского дна в системе координат x_1y_1 ; $a_2 = T_0q$ — ордината морского дна в системе координат x_2y_2 ; q — масса 1 м цепи; l_{II} — длина провисающей части якорной цепи; l — длина вытравленной якорной цепи.

Практически расчет состоит в определении массы якорей и калибра якорной цепи по ветровому воздействию Q_B с учетом

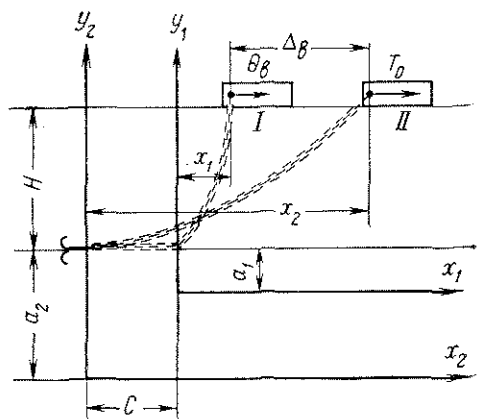


Рис. 56. Схема к расчету перемещения ПБУ при постановке на точку бурения и снятия с нее

коэффициента запаса, равного 5—8, причем длину вытравленной цепи принимают равной $1,5 H$. Для полученных параметров проверяют допустимое перемещение ПБУ и при положительных результатах назначают массу якоря, калибр и длину якорной цепи.

В оборудование комплекса «А» входит рейдовая бочка цилиндрической формы, подъемная сила которой равна 3—4 веса якоря. По оси рейдовой бочки установлена вертикальная ключевая труба с днищевым и палубными ключами для пропуска якорной цепи, которая стопорится в палубном ключе рымом.

Смычки цепи, соединенные между собой якорем и рейдовой

бочкой, представляют готовый комплект «А», называемый в морской практике бриделем. Сборка производится на береговой базе или палубе краново-монтажного судна, и комплект «А» подается к месту работы краново-монтажным судном при постановке или снятии ПБУ.

Комплект «Б» состоит из устанавливаемых на ПБУ швартовных лебедок и направляющих роульсов для тросов. Швартовные лебедки располагают в кормовой части (2 или 4 лебедки) и в носовой части (2 лебедки). При постановке на точку бурения достаточно двух кормовых лебедок, швартовные концы от которых под углом 45° к ДП закрепляются на якорях, а носовая часть ПБУ поддерживается буксиром. Снятие ПБУ с точки бурения при подводном заканчивании скважины, т. е. при отсутствии выходящей на поверхность воды части ствола скважины, также может осуществляться удержанием двумя кормовыми лебедками и буксиром, подаваемым с носа.

При установленном блок-кондукторе или свободно стоящем стволе скважины ПБУ снимается с точки бурения путем подачи с кормы двух пар тросов — одна пара параллельно ДП и другая под углом $\approx 45^\circ$ к ДП — и одной пары тросов с носа, параллельных ДП. Швартовные лебедки и направляющие роульсы располагают так, чтобы обеспечить подачу и выборку тросов.

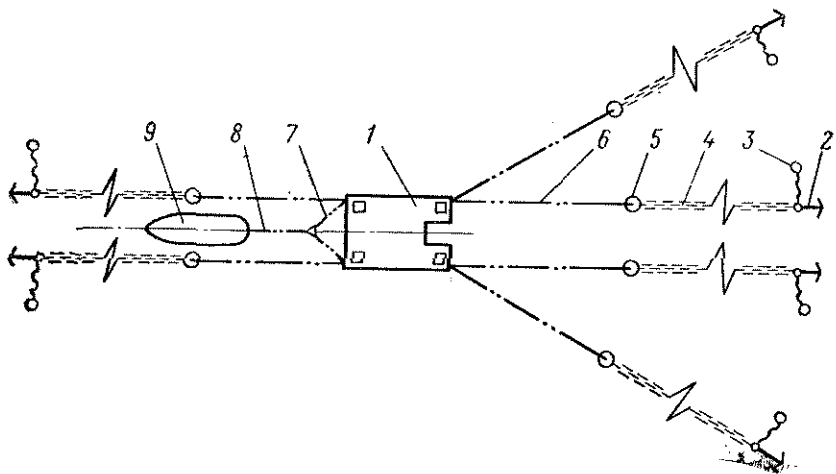


Рис. 57. Схема постановки ПБУ на точку бурения и снятия с нее;
1 — ПБУ; 2 — якорь; 3 — буй с буйрепом; 4 — якорная цепь; 5 — рейдовая бочка;
6 — швартовный трос; 7 — брага; 8 — буксирный трос; 9 — буксир

Тяговое усилие лебедок определяется величиной ветрового воздействия. Обычно канатоемкость барабанов составляет 300—400 м. Принципиальная схема устройства для постановки и снятия с точки бурения ПБУ показана на рис. 57.

§ 7. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕСАДКИ ЛЮДЕЙ

Устройство предназначено для пересадки людей с ПБУ на обслуживающие суда и обратно. В зарубежной и отечественной практике обслуживания стационарных и плавучих платформ известен ряд конструкторских решений по созданию специальных средств для пересадки людей. Широко применяется способ пересадки с помощью грузового крана, к грузовому гаку которого подвешивается кабина для размещения людей. Кабина может быть закрытой или открытой. В первом случае люди входят внутрь площадки, имеющей ограждение. Во втором случае люди располагаются на площадке вокруг стойки с поручнями. Подвешенная к грузовому крану кабина выносится за борт установки и опускается на палубу обслуживающего судна, которое подходит к установке кормой при отданном носовом якорю. Пересадка таким способом при волнении моря в три балла уже небезопасна, а при большем волнении невозможна. Поэтому продолжают разработки конструкций устройств, с помощью которых можно осуществлять безопасную пересадку при волнении моря более трех баллов.

§ 8. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДЪЕМА И СПУСКА ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Забортная вода на ПБУ в рабочем положении подается погружными насосами, которые опускаются с установки на глубину, исключаящую их оголение при всех возможных в процессе работы понижениях уровня моря. Устройство представляет собой телескопическую трубу, опускаемую через шахту в корпусе установки так, что нижний конец трубы опускается на глубину погружения насоса.

Внутри телескопической трубы опускается штанга, на конце которой закреплен погружной насос. На штанге закреплены кабель электропитания насоса и напорный шланг подачи воды. Для кабеля и шланга на палубе устанавливают вышки. Телескопическая труба и погружной насос опускаются и поднимаются с помощью грузового крана или лебедки, устанавливаемой на палубе.

§ 9. ГРУЗОВОЕ УСТРОЙСТВО

Для приема груза на ПБУ и выдачи его на палубе устанавливаются грузовые краны, которые должны обеспечить прием груза с судов, подходящих с обоих бортов установки, а также обслуживание трубной площадки. Грузоподъемность кранов колеблется в пределах от 3 до 25 т и более и зависит от назначения установки.

Как правило, на ПБУ устанавливают стационарно закреп-

ленные полноповоротные краны. В некоторых конструкциях ПБУ предусматривается установка передвижных, козлового типа кранов, а также кранов для монтажа секций опорных колонн.

Механизмы грузовых кранов выполняются с электрическими и электрогидравлическими приводами.

§ 10. ОБОРУДОВАНИЕ И УСТРОЙСТВО ВЕРТОЛЕТНОЙ ПЛОЩАДКИ

ПБУ обслуживаются вертолетами, полеты которых допускаются над водным пространством. При выборе типа вертолета также учитываются реальные возможности обеспечения посадочной площадки необходимых размеров.

Вертолетная взлетно-посадочная площадка (ВППл) предназначена для вертолетного обслуживания ПБУ. Постоянное базирование вертолетов не предусматривается.

Расположение ВППл должно обеспечивать воздушные подходы, в наибольшей мере свободные от препятствий. Поэтому большинство ПБУ имеет ВППл в носовой части, наиболее отдаленной от буровой вышки. Известны конструкции ВППл, расположенные над опорной колонной. При назначении размеров ВППл и взаимного расположения ее с другими конструкциями установки необходимо учитывать, что минимально допустимое расстояние от препятствия до вертолета должно составлять $0,1$ диаметра несущего винта.

Конструкция ВППл выполняется достаточно прочной, рассчитанной на восприятие динамических усилий, возникающих при взлете и посадке вертолета. Верхняя плоскость ВППл представляет собой сплошной стальной настил, покрытый мастикой и сеткой из растительного каната, препятствующего качению вертолета. По контуру на ВППл устанавливают комингс.

На поверхности ВППл наносится маркировка для выдерживания при полете глиссады и азимута. Для крепления вертолета на ВППл предусматриваются швартовные приспособления. Вертолетное обслуживание обеспечивается средствами радиосвязи, светотехническими средствами и приборами визуального контроля.

§ 11. ДВИЖИТЕЛИ

Большинство спроектированных и построенных ПБУ выполнены самоходными. Такое конструктивное решение оправдано для установок с длительным циклом бурения и не совершающих частые переходы в пределах одного района бурения. В этом случае ПБУ перемещается с помощью буксиров.

Однако для установок с непродолжительным циклом бурения и частыми переходами от одной скважины к другой в пределах одного района бурения может оказаться целесообразной установка движителей. ПБУ, имеющие движители, можно счи-

тать самоходными, способными к переходам продолжительностью не более 12 ч в данном районе бурения. На длительных переходах движители используются в качестве вспомогательного средства при буксировке.

Наличие на ПБУ мощных энергетических установок для технологического комплекса, которые не бывают загружены при переходах, создает возможность установки электроприводных движителей. Для обеспечения хода и хороших маневренных качеств, необходимых при постановке и снятии ПБУ с точки бурения, на ПБУ всех типов могут устанавливаться главные движительно-рулевые установки (ГДРУ).

Корпус ПБУ имеет большую ширину и поэтому ГДРУ следует выполнять из двух поворотных винтовых колонок (ПВК), располагаемых в носовой части за пределами корпуса и содержащих «тянущие» гребные винты. Принципиальная схема установки ПВК приведена на рис. 58. Размещение гребных винтов ПВК за пределами корпуса улучшает пропульсивный к. п. д.

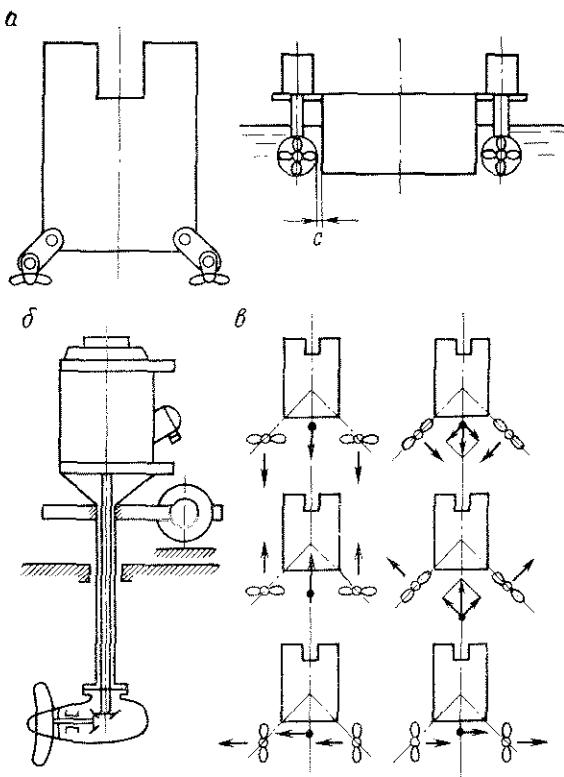


Рис. 58. Установка движителей на ПБУ:
 а — компоновка движителей; б — схема ПВК для ПБУ; в — схема взаимодействия движителя с корпусом

установки, так как в этом случае можно получить высокие значения коэффициента влияния корпуса и минимальные степени неравномерности потока в плоскости гребных винтов.

ГДРУ из двух ПВК, установленных на достаточно большом расстоянии от ДП, позволяет обеспечить передний и задний ходы, а также маневрирование во всех направлениях при постоянной частоте вращения гребных винтов. Горизонтально расположенные оси гребных валов ПВК поворачиваются на 360° в горизонтальной плоскости под действием механизмов поворота баллеров.

На рис. 58 показаны различные положения ГДРУ и взаимодействие сил упора гребных винтов с корпусом, позволяющее получать различные по величине и направлению равнодействующие сил упора [19].

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА СВЯЗИ

§ 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Совершенствование конструкций плавучих буровых установок, расширение объема буровых работ в сложных морских условиях, необходимость повышения производительности труда, повышенные требования к надежности и экономичности обуславливают развитие электропривода механизмов и, в первую очередь, развитие систем электропривода главных технологических механизмов (буровой лебедки, ротора, буровых и цементовочных насосов).

Основными видами привода главных механизмов для ПБУ могут быть: дизельный (дизель-механическая или дизель-гидравлическая передача) и электрический (электромашинная передача энергии первичных двигателей — дизелей, газовых турбин и т. д. — исполнительным механизмам).

В настоящее время в приводе главных технологических механизмов все больше применяется электромашинная передача благодаря ее преимуществам по сравнению с дизельным приводом:

сокращение числа механических передач; повышение производительности и надежности механизмов; удобство управления; улучшение пуско-регулирующих и динамических характеристик привода; упрощение компоновки; большая маневренность в распределении электроэнергии; возможность получения требуемых по технологии бурения механических характеристик привода без перегрузки первичных двигателей; повышение безопасности обслуживания за счет удаления первичных двигателей от механизмов и устья скважины.

На ряде ПБУ первых образцов (например, «Апшерон», «Азербайджан») в приводе главных механизмов применены электродвигатели переменного тока. Однако научно-исследовательские работы ВНИИЭлектропривода, Уралмашзавода, опыт проектирования и эксплуатации показали целесообразность применения для главных буровых механизмов регулируемого электропривода, который на современном уровне развития техники обычно выполняется на базе электродвигателей постоянного тока.

Регулируемый привод позволяет повысить производительность буровой установки как вследствие лучшего использования установленной мощности при изменяющейся нагрузке

(буровая лебедка), так и в результате обеспечения оптимальных режимов бурения и повышения проходки на долото (буровые насосы и роторный стол). Кроме того, он повышает надежность механизмов вследствие упрощения кинематической схемы и снижения динамических нагрузок.

По данным ВНИИЭлектропривода, регулирование частоты вращения буровых насосов в диапазоне 0,8—1,1 от номинальной может обеспечить увеличение скорости проходки на 10—15%, а экономия машинного времени подъема инструмента при замене нерегулируемого привода с четырехскоростной коробкой передач регулируемым равной мощности составляет 25—30%.

Мощности приводов главных механизмов для бурения с ПБУ обычно принимаются более высокими, чем при наземном бурении, что обусловлено высокой стоимостью ПБУ в целом и большими амортизационными отчислениями, в результате чего сокращение машинного времени дает большой экономический эффект. Кроме того, с уменьшением степени загрузки механизмов повышается надежность их работы.

Электроэнергетические системы ПБУ могут быть выполнены двух видов:

с отдельными электростанциями:

а) переменного тока для питания вспомогательных технологических механизмов; механизмов, обслуживающих электростанцию, бытовых потребителей и т. д.;

б) постоянного тока для питания электроприводов главных технологических механизмов по системе «генератор—двигатель» или по системе «неизменного тока» («кольцевая система»);

с единой электростанцией переменного тока, когда питание электродвигателей в электроприводах главных технологических механизмов производится от шин переменного тока либо непосредственно (ПБУ «Апшерон», «Азербайджан»), либо через силовые тиристорные преобразователи (ПБУ «Баку») [30].

На рис. 59 показана электроэнергетическая система ПБУ «Хазар», привод главных механизмов которой выполнен по системе «неизменного тока».

Для обеспечения электропитания в системе «неизменного тока» вместо генераторов постоянного тока могут быть применены синхронные генераторы с подключенными к ним управляемыми вентилями (конструктивно эти вентили могут быть встроены в синхронные генераторы).

К положительным качествам системы «неизменного тока» относятся: отсутствие связи между числом генераторов и числом электродвигателей; хорошее резервирование генераторов; несинхронная работа генераторных агрегатов, в связи с чем возможна работа их при малых нагрузках на пониженных оборотах; «нечувствительность» к коротким замыканиям.

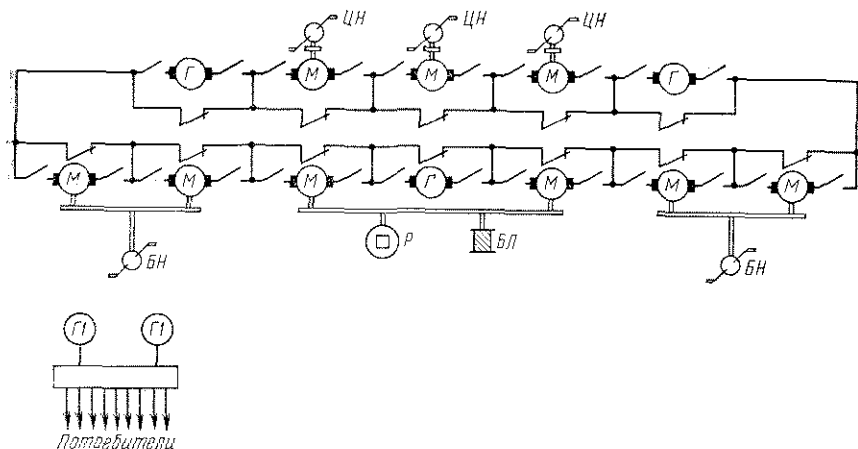


Рис. 59. Упрощенная схема электроэнергетической системы ПБУ «Хазар»: Г — генераторы постоянного тока (1120 кВт, 800 В); Г1 — генераторы переменного тока (750 кВт, 400 В); М — электродвигатели постоянного тока; БЛ — буровая лебедка; Р — ротор; БН — буровой насос; ЦН — цементовочный насос

В то же время система «неизменного тока» обладает рядом недостатков. Естественные механические характеристики электродвигателя в этой системе представляют собой ряд почти вертикальных прямых. При работе на этих характеристиках скорость электродвигателя (для механизмов с постоянным моментом сопротивления) будет неустойчивой. В связи с этим используют искусственные характеристики, что усложняет схему. Пусковой момент электродвигателя в системе «неизменного тока» ограничен, в связи с этим разгон происходит сравнительно медленно. Это особенно важно для механизмов с повторно-кратковременным режимом работы (буровая лебедка). Все электродвигатели, включенные в «кольцо», должны выбираться на один ток якоря, что усложняет их подбор.

Преимущества и недостатки системы «генератор—двигатель» хорошо известны и поэтому в этой работе не приводятся. Достоинства и недостатки электропривода переменного тока по существу те же, что и нерегулируемого привода.

Создание силовых тиристорных преобразователей позволило применить систему электропривода тиристорный преобразователь—электродвигатель постоянного тока. В этой системе электродвигатели постоянного тока получают питание от шин единой электростанции переменного тока через индивидуальные регулируемые тиристорные преобразователи. Эта система электропривода сочетает в себе преимущества энергосистем с единой электростанцией и индивидуального регулируемого электропривода.

В настоящее время электропривод по системе тиристорный преобразователь—двигатель широко применяется на строящихся и проектируемых плавучих буровых установках.

§ 2. ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ПБУ

Электростанция ПБУ служит для обеспечения электроэнергией всех механизмов и устройств на ПБУ. Наибольшее распространение получили электроэнергетические системы с единой электростанцией переменного тока, что объясняется возможностью параллельной работы всех генераторов и унификации агрегатов, уменьшением их установленной мощности, упрощением резервирования, возможностью подключения более мощных потребителей, сокращением капитальных и эксплуатационных затрат.

Методы расчета мощности электростанции ПБУ не отличаются от методов расчета судовой электростанции. Они приводятся в литературе и руководящих материалах по судостроению [24, 42]. Обычно эти расчеты производятся в табличной форме. При расчетах следует учитывать следующие режимы работы ПБУ: переход на точку бурения; установка на точку бурения; формирование устья скважины; механическое бурение в различных интервалах глубин; спуско-подъемные операции; цементирование; аварийный режим на плаву.

Суммарные нагрузки электростанции по режимам служат основанием для выбора числа и мощности генераторов. При этом необходимо учитывать как активную, так и реактивную нагрузки. В некоторых случаях (при применении тиристорных преобразователей) может оказаться необходимым использование специальных устройств для компенсации реактивной мощности (например, конденсаторных батарей). Однако наилучшим решением в этом случае, по-видимому, следует считать применение генераторов с низким номинальным $\cos \varphi$.

Мощность генераторных агрегатов должна быть такой, чтобы при выходе из строя одного агрегата оставшиеся обеспечивали возможность работы с номинальной производительностью в основных технологических режимах ПБУ—механическое бурение и спуско-подъемные операции. Следует учитывать, что в режиме спуско-подъемных операций буровая лебедка работает в повторно-кратковременном режиме и нагрузка электростанции будет значительно колебаться, особенно при мощных лебедках.

Обычно на ПБУ величина номинального напряжения генераторов трехфазного переменного тока принимается равной 400 В. Эта величина согласуется с требованиями Правил Регистра СССР [28]. Однако создание электростанций большой мощ-

ности на напряжение 400 В (при мощности параллельно работающих генераторов 3000 кВт и выше) связано с рядом трудностей, обусловленных ростом ударных токов короткого замыкания [16, 17]. Эти трудности могут быть частично или полностью преодолены путем использования различных способов ограничения токов короткого замыкания (применение реакторов, быстродействующих предохранителей, использование синхронных генераторов с повышенной реактивностью), а также повышением величины генерируемого напряжения.

Как показали исследования ЦНИИ судовой электротехники и технологии, при повышении напряжения до 660 В могут быть снижены масса и габаритные размеры электрооборудования, особенно кабеля. При этом мощность параллельно работающих генераторов (с учетом токоограничивающих средств) может быть доведена до 5300—6500 кВт. При мощностях электростанции более 6000—8000 кВт целесообразно применение высокого напряжения (6000 В).

Эти положения подтверждаются опытом постройки ПБУ, полупогружных платформ и буровых судов зарубежными фирмами, которые широко используют повышенное (600 В) и высокое (4000—6000 В) напряжение.

Электроэнергетические системы плавучих буровых установок автоматизированы [20]. Важнейшими являются: автоматическое регулирование возбуждения и реактивной мощности генераторов; автоматическое регулирование частоты и активной мощности генераторных агрегатов; автоматическая синхронизация генераторов; автоматический контроль за изоляцией.

§ 3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК «АПШЕРОН», «АЗЕРБАЙДЖАН» И «БАКЫ»

Плавучие буровые установки «Апшерон» и «Азербайджан» по виду электроэнергетической установки и системе электропривода однотипны. Источником электроэнергии на этих ПБУ служит единая электростанция переменного трехфазного тока с генераторным напряжением 400 В. В составе электростанции предусмотрены основные и вспомогательные дизель-генераторы. Во всех технологических режимах работы ПБУ один из основных дизель-генераторов находится в резерве. Вспомогательные дизель-генераторы предназначены для работы при небольших нагрузках электростанции, когда использование основных дизель-генераторов нецелесообразно. Они обычно работают в положении ПБУ «на плаву» и при простоях.

В приводе главных и вспомогательных механизмов приме-

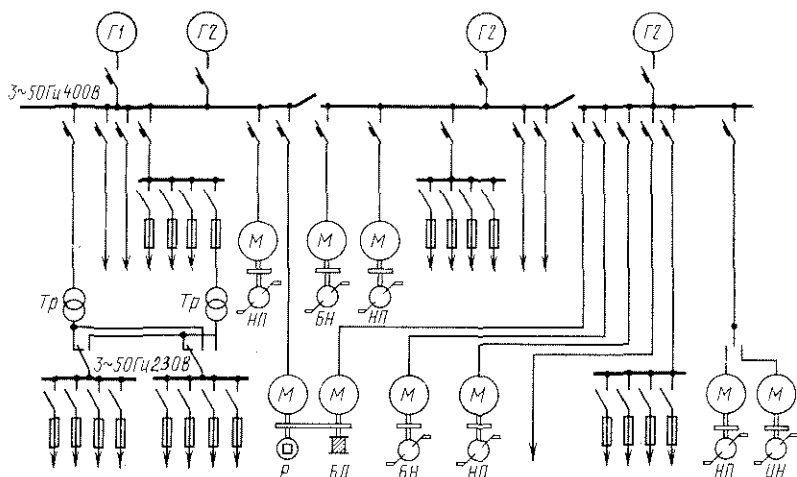


Рис. 60. Упрощенная схема электроснабжения ПБУ «Апшерон»:

G1 — вспомогательный генератор переменного тока (50 кВт, 400 В); *G2* — основные генераторы переменного тока (200 кВт, 400 В); *M* — электродвигатели переменного тока; *Тр* — понижающие трансформаторы 400/230 В; *БЛ* — буровая лебедка; *Р* — ротор; *БН* — буровой насос; *ЦН* — цементировочный насос; *НП* — насос системы гидроподъема

нены электродвигатели переменного тока (асинхронные). Привод главных механизмов — нерегулируемый. Наиболее мощные электродвигатели — асинхронные с фазным ротором: электродвигатели буровой лебедки, буровых насосов, а на ПБУ «Апшерон», кроме того, электродвигатели гидронасосов системы подъема и цементировочного насоса.

На рис. 60 показана упрощенная однолинейная схема электроснабжения, а в табл. 20 приведены основные данные электроэнергетической системы ПБУ.

Таблица 20

| ПБУ | Генераторы, кВт | | Электроприводы, кВт | | | |
|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| | основные | вспомогательные | лебедки | бурового насоса | насоса гидроподъема | цементировочного насоса |
| «Апшерон» | 3×200 | 1×50 | 2×100 | 2×75 | 4×75 | 1×80 |
| «Азербайджан» | 3×600 | 2×100 | 2×160 | 3×320 | 4×160 | 1×75 |

Плавающая буровая установка «Баки» по типу электроэнергетической системы относится к ПБУ с единой электростан-

Таблица 21

| Наименование | Число механизмов | Тип электрической машины | Установленная мощность, кВт |
|-----------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Генераторы: | | | |
| основные | 4 | МСК-1250/750 | 1000 |
| вспомогательные | 2 | ГСС 114-8 | 160 |
| Главные механизмы: | | | |
| буровая лебедка | 1 | ДПП-99/74-8КМ | 2×630 |
| ротор | 1 | МПЭ800-800 | 800 |
| буровой насос | 3 | МПЭ800-800 | 800 |
| цементировочный насос | 4 | МПЭ450-900 | 450 |
| насос гидроподъема | 8 | А2-122-6ТМ | 320 |

цией переменного тока. Генераторное напряжение принято 400 В трехфазного тока. Электропривод главных механизмов технологического комплекса осуществлен по системе тиристорный преобразователь—двигатель постоянного тока. Реактивная мощность при работе тиристорных электроприводов компенсируется конденсаторными батареями.

На рис. 61 показана упрощенная однолинейная схема, а в табл. 21 приведены основные данные электроэнергетической системы ПБУ «Баки».

Питание электродвигателей постоянного тока осуществляется от четырех тиристорных преобразователей типа КУВ $\frac{320 \times 4}{10 \times 2} \times 6$ АМ на выпрямленный ток 450 В и 2000 А.

Все электродвигатели постоянного тока разделены на четыре группы, каждая из которых питается от своей системы шин. Резервирование питания обеспечивается тем, что каждая система шин с помощью переключателя подключается к одному или другому тиристорному преобразователю.

Электропривод буровой лебедки реверсивный, двухдвигательный. В связи с повторно-кратковременным режимом работы электропривода лебедки предусмотрена возможность работы с коэффициентом перегрузки электродвигателей 1,4. Частота вращения электропривода лебедки от нуля до номинальной регулируется изменением напряжения на якоре электродвигателя, а выше номинальной — изменением потока электродвигателя (двухзонное регулирование).

Электродвигатели лебедки используются в качестве тормоза при спуске инструмента (динамическое торможение). При этом система управления обеспечивает автоматическое поддержание скорости спуска.

Электропривод ротора — реверсивный однодвигательный.

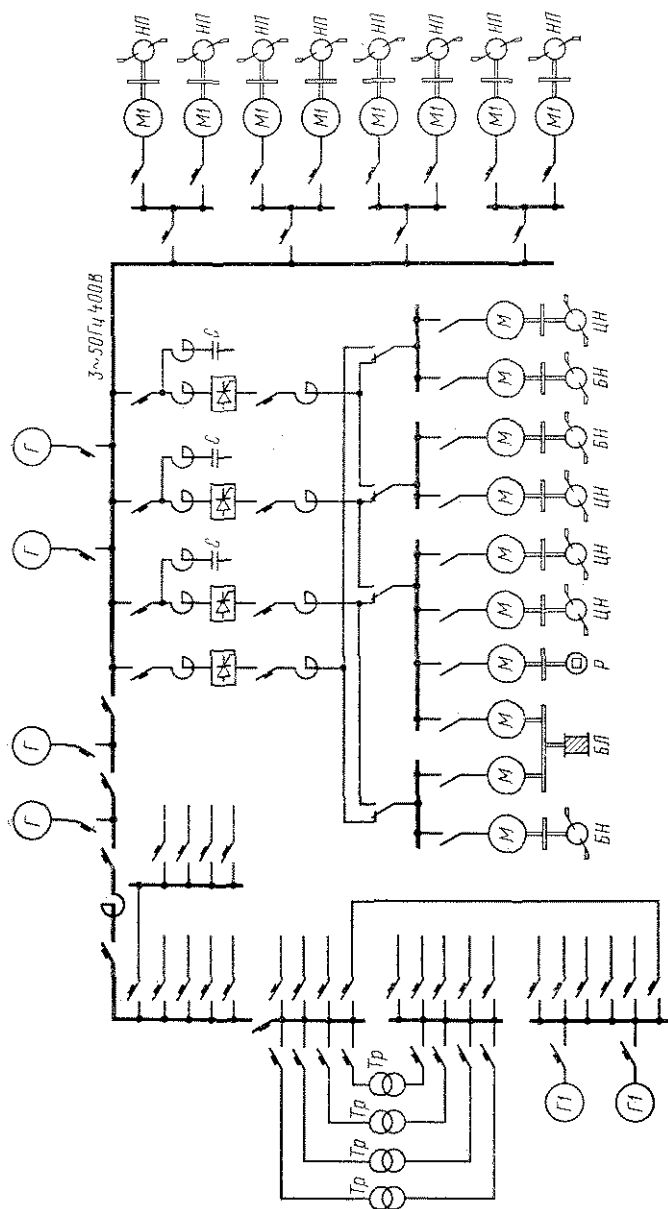


Рис. 61. Упрощенная схема электроснабжения ПБУ «Бакы»:

Г — основные генераторы переменного тока (1250 кВа, 400 В); Г1 — вспомогательные генераторы переменного тока (200 кВа, 400 В); М — электродвигатели постоянного тока; М1 — электродвигатели переменного тока; Тр — понижающие трансформаторы 400/230 В; С — конденсаторная батарея; БЛ — буровая лебедка; Р — ротор; БН — буровой насос; ЦН — цементировочный насос; ПП — насос системы гидроподъема

Частота вращения электродвигателя регулируется изменением напряжения на якоре (однозонное регулирование). При изменении напряжения от 0 до 230 В регулирование осуществляется с постоянством момента, а при изменении напряжения от 230 до 440 В — с приблизительным постоянством мощности (электродвигатель используется при мощности около 400 кВт).

Электропривод буровых насосов — нереверсивный, однодвигательный. Частота вращения регулируется от номинальной при постоянном моменте изменением напряжения на якоре электродвигателя (однозонное регулирование). Электропривод цементировочных насосов — нереверсивный, однодвигательный. Регулирование частоты вращения электродвигателя — двухзонное.

В электроприводе остальных механизмов ПБУ применены асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, исключение составляют электроприводы регулятора подачи долота и каротажной лебедки, которые выполнены по системе генератор—двигатель.

§ 4. ТРЕБОВАНИЯ К ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПБУ

При бурении скважин могут возникнуть ситуации, когда в отдельных помещениях и открытых пространствах появляются горючие газы и пары, образующие с воздухом взрывоопасную смесь. Эти газы и пары выносятся из скважины буровым раствором, а затем выделяются из него. В зависимости от вероятности появления взрывоопасной смеси различают три вида взрывоопасных зон.

Зона 0 характеризуется длительным присутствием взрывоопасной смеси при нормальной работе. Зона 1 характеризуется возможностью образования взрывоопасной смеси при нормальной работе. Зона 2 характеризуется малой вероятностью образования взрывоопасной смеси, а если она и образуется, то существует только в течение непродолжительного времени.

В настоящее время отсутствуют отечественные правила, определяющие границы зон, а также требования к электрооборудованию в этих зонах. Однако имеются требования зарубежных классификационных обществ, требования МАКО и исследования института ВНИИТБ по данному вопросу.

На плавучих буровых установках к зоне 0 можно отнести внутренние пространства цистерн и трубопроводов для нефти, газа и бурового раствора, содержащего газы и нефтепродукты; к зоне 1 — помещения и открытые пространства, где установлены открытые технологические аппараты, содержащие такой буровой раствор; к зоне 2 — помещения и открытые простран-

ства, в которых установлены закрытые технологические аппараты с буровым раствором, содержащим газы и нефтепродукты.

В пространствах зоны 0 не рекомендуется устанавливать электрооборудование. При необходимости оно должно быть искробезопасного исполнения с уровнем взрывозащиты — «взрывобезопасное при любых повреждениях». В помещениях и открытых пространствах, отнесенных к зоне 1, следует применять взрывозащищенное электрооборудование с уровнем взрывозащиты не ниже «взрывобезопасного»; в помещениях и открытых пространствах зоны 2 — взрывозащищенное с любым уровнем взрывозащиты (уровни взрывозащиты — согласно Правилам изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования — ПИВРЭ) [26].

Как показали исследования ВНИИТБ, помещения и открытые пространства, отнесенные к взрывоопасным зонам, являются опасными по парам нефти (нефть относится к категории 2 группы ТЗ по ПИВРЭ). В помещениях и открытых пространствах, отнесенных к взрывоопасным зонам, должен быть предусмотрен контроль за воздушной средой стационарно установленными сигнализаторами, выдающими сигнал при концентрации паров нефти в воздухе около 20% от нижнего предела взрываемости.

Все помещения, отнесенные к зонам 1 и 2, должны быть обеспечены эффективной системой вентиляции (обычно механической), обеспечивающей кратность обмена воздуха не менее 20 для помещений зоны 1 и не менее 10 для помещений зоны 2, причем в этих помещениях следует поддерживать пониженное давление по сравнению с безопасными помещениями. Прием и выкид вентиляционного воздуха должен производиться из безопасных зон.

Эффективность вентиляции существенно влияет на классификацию помещений. Так, требования МАКО допускают считать взрывобезопасными помещения, которые по типу установленного в них оборудования могли бы быть отнесены к зоне 2:

помещения, где имеются только трубопроводы с фланцевыми соединениями при наличии вентиляции, обеспечивающей не менее 10 обменов воздуха в час;

помещения, где имеются клапаны и насосы (либо одни из них) при наличии вентиляции, обеспечивающей не менее 30 обменов воздуха в час.

§ 5. СРЕДСТВА СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

Плавучие буровые установки обеспечиваются средствами внешней радиосвязи с береговыми радиостанциями на расстояниях 200—300 миль, с буксирующими и обслуживающими судами, с вертолетами.

Для обеспечения внешней громкоговорящей связи с буксирующими и обслуживающими судами, внутренней громкоговорящей связи между постами управления и отдельными помещениями, трансляции команд и художественного вещания на ПБУ предусматривают систему громкоговорящей связи и трансляции.

Для обеспечения внутренней связи и сигнализации на ПБУ предусматриваются: телефонная связь между постами управления и помещениями; система авральной сигнализации; система пожарной сигнализации.

Средства навигации на несамоходных плавучих буровых установках не предусматриваются, а на самоходных ПБУ выбираются согласно Правилам Регистра.

Глава XI

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПБУ

Техника и технология бурения скважин на нефть и газ с ПБУ существенно не отличаются от аналогичных работ, выполняемых на суше. Особенности эксплуатации ПБУ являются: буксировка, установка ПБУ над точкой бурения и отвод ПБУ с точки бурения, обследование морского дна на месте установки, перевод из транспортного положения в рабочее и обратно, удифферентовка ПБУ перед снятием с точки бурения, а также мероприятия по обеспечению живучести ПБУ во всех эксплуатационных режимах. Необходимо, чтобы ПБУ была прибуксирована на точку бурения в состоянии готовности к переводу в рабочее положение и началу бурения.

Как было указано, постановка ПБУ на точку бурения и снятие с нее — одна из наиболее ответственных операций, от которой зависит безопасность всего сооружения. ПБУ при переводе из положения на плаву в положение, когда опорные колонны опираются на морское дно, а корпус поднят до заданной отметки над уровнем моря, проходит ряд промежуточных положений, при которых волны воздействуют на корпус. В этом режиме работы при неправильных действиях экипажа или отказе технических средств не исключена аварийная ситуация. По статистическим данным мировой практики морского бурения, значительная часть аварий с установками происходила при постановке на точку бурения или снятии с нее. Особенно важно при постановке на точку располагать достоверными данными о грунтах и рельефе дна. Поэтому процессу постановки предшествуют гидрографические и инженерно-геологические изыскания в этом районе, которые выполняются специальными судами.

Рельеф морского дна обследуется путем замеров глубин моря в районе постановки, производимых эхолотом с исследовательского судна. При необходимости выполняется водолазное обследование дна. При получении положительных результатов обследования, подтвердивших, что структура грунта и рельеф морского дна не вызовут погружения каждой опорной колонны на глубину, превышающую допустимую, выбранное место признается пригодным для постановки ПБУ и на этом месте устанавливают закоренный буй.

§ 1. БУКСИРОВКА ПБУ

Как уже отмечалось, различают два вида буксировки ПБУ: переход в пределах одного разведываемого района, от одной точки бурения к другой при продолжительности не более 12 ч; перегон при продолжительности более 12 ч. Буксировка продолжительностью не более 12 ч производится при благоприятном прогнозе ветра и волнения, допустимая величина которых определяется проектом ПБУ.

При ухудшении погоды, если по прогнозу ветер не превышает расчетную величину, ПБУ может оставаться на плаву, удерживаемая буксирами или на якорях. В случае ожидаемого дальнейшего усиления ветра ПБУ отбуксировывается в укрытие. При коротких переходах и достаточной глубине моря опорные колонны во время буксировки могут быть приспущены.

Перегон ПБУ осуществляется по специально разработанному проекту перегона. В проекте в зависимости от расстояния, района плавания и долгосрочного метеопрогноза определяются скорость буксировки, число и мощность буксиров, обеспечивающих перегон. Перед буксировкой проверяется весовая нагрузка ПБУ, которая должна соответствовать нагрузке, предусмотренной «Информацией об остойчивости».

Перед буксировкой ПБУ все палубные отверстия и отверстия, ведущие в подпалубные помещения, должны быть задраены, подвыщечный портал закреплен в положении «по-походному», а все грузы тщательно принайтованы; механизмы, системы, устройства и другое оборудование, обеспечивающее перегон, приготавливаются и содержатся в рабочем состоянии в соответствии с правилами и нормами технической эксплуатации морских судов.

На ПБУ оставляется минимальный состав команды, необходимый только для буксировки и выполнения работ по установке на точку бурения.

§ 2. УСТАНОВКА ПБУ НА ТОЧКУ БУРЕНИЯ И ОТВОД ОТ НЕЕ

До подхода ПБУ к месту установки готовят якоря, якорные цепи и рейдовые бочки, размеры и масса которых соответствуют комплекту «А» (см. гл. IX). Для постановки на точку достаточно иметь два комплекта. При снятии ПБУ с точки бурения, если ствол скважины закрепляется на блок-кондукторе, подготавливают четыре комплекта.

Установка ПБУ на точку бурения. Крановое судно с подготовленными комплектами «А» подходит к месту постановки ПБУ, обозначенному буями. Якоря устанавливаются так, чтобы ПБУ расположилась в определенном направлении по отношению к преимущественному в том районе направлению ветра.

Если не предполагается вертолетное обслуживание, ПБУ устанавливаются так, чтобы буровая вышка оказалась с подветренной стороны. Это уменьшает вероятность занесения ветром газа или пламени из скважины в район жилой рубки. При предполагаемом вертолетном обслуживании, для исключения сноса вертолета на препятствия, диаметральной плоскости ПБУ устанавливается под углом 45° к преимущественному направлению ветра.

После установки рейдовых бочек подводится ПБУ и двумя буксирами удерживается кормовой частью возможно ближе к рейдовым бочкам. При помощи вспомогательного судна подаются швартовные тросы с барабанов лебедок ПБУ и закрепляются на рейдовых бочках. Буксирное судно, связанное с носовой частью ПБУ, создает натяжение, а выбиранием (травлением) швартовых тросов лебедками ПБУ осуществляется фиксирование ПБУ в заданном месте. В таком положении приступают к спуску опорных колонн и подъему корпуса.

Постановка ПБУ при благоприятной погоде возможна без удержания над точкой на рейдовых бочках. В этом случае ПБУ подводится к месту установки. После полной остановки одну из опорных колонн опускают до опирания на морское дно, а ПБУ разворачивается буксирным судном на очень малом ходу до заданного положения, в котором удерживается. Затем опускают остальные опорные колонны.

Рекомендуется при подходе ПБУ к месту установки для сокращения времени предварительно опускать опорные колонны на глубину, исключая касание дна при волнении.

Отвод ПБУ с точки бурения. При отводе ПБУ с точки бурения без сохранения ствола скважины буксирный конец подается на буксирующее судно до начала опускания корпуса ПБУ на воду. После завершения перевода ПБУ из рабочего положения в транспортное с нее подается команда для буксировки.

В случае сохранения ствола скважины после завершения всех работ по проводке устанавливается блок-кондуктор, к которому крепится ствол скважины. Блок-кондуктор размещается достаточно близко к корпусу ПБУ. Поэтому отводить ПБУ следует достаточно осторожно с тем, чтобы исключить навал ПБУ на блок-кондуктор. При отводе ПБУ с точки бурения используют четыре рейдовые бочки.

Опускание корпуса и «выдергивание» опорных колонн выполняют при одновременном выбирании слабину швартовых тросов. После «выдергивания» опорных колонн из грунта двумя носовыми швартовыми концами при одновременном потравливании двух кормовых швартовых концов ПБУ оттягивается от блок-кондуктора на расстояние, равное 1,5—2 длины корпуса, и подготавливается для буксировки. Рейдовые бочки снимаются краново-монтажным судном после ухода ПБУ.

При бурении скважин на небольшой глубине моря (до 20 м) и в районе моря с малым волнением возможно оставление на некоторое время ствола скважины без крепления к блок-кондуктору. В этом случае ПБУ снимается с точки бурения так же, как описано в этом параграфе, а ствол скважины крепится к блоку после его установки.

§ 3. СПУСКО-ПОДЪЕМНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ПБУ НА ТОЧКУ БУРЕНИЯ И СНЯТИИ С НЕЕ

Наиболее ответственными операциями при эксплуатации ПБУ являются постановка их на точку бурения и снятие с нее — перевод из транспортного положения в рабочее, и наоборот.

Безопасность стоянки ПБУ в положении на колоннах обеспечивается «задавливанием» колонн в грунт усилием, превышающим максимальную расчетную нагрузку на одну колонну. Для четырехколонных ПБУ усилие задавливания составляет 40—45% от веса корпуса. Колонны задавливают при постановке ПБУ на точку бурения: у трехколонных ПБУ принятием соответствующего количества балласта, а у четырехколонных ПБУ обычно путем перераспределения нагрузки от веса корпуса между колоннами (сначала одна пара диагонально расположенных колонн разгружается и нагрузка передается на вторую пару колонн; затем вторая пара разгружается и нагрузка передается на первую пару колонн).

Для ПБУ с четырьмя опорными колоннами принят следующий порядок проведения спуско-подъемных операций. После установки ПБУ над точкой бурения начинается спуск опорных колонн. По мере достижения колоннами грунта их вес начинает распределяться между корпусом и грунтом и осадка корпуса ПБУ уменьшается. В связи с неровностью дна моря и неодинаковой несущей способностью грунта под опорными колоннами могут возникнуть значительные крен и дифферент ПБУ. Для их устранения часть подъемников опорных колонн останавливают. Допустимым считается крен или дифферент не более 1—1,5°. Точно зафиксировать момент касания колонной грунта трудно. Признаком того, что часть веса колонн воспринимается грунтом, могут служить уменьшение осадки ПБУ и увеличение давления в нерабочих полостях (верхних) силовых гидроцилиндров.

Когда опорные колонны начинают заглубляться в грунт, а корпус ПБУ находится в воде, на опорные колонны передается горизонтальная нагрузка, возникающая от воздействия воли на корпус. В положении, когда вес опорной колонны полностью воспринимается грунтом, а корпус ПБУ плавает, к этим нагрузкам добавляются удары захватов о верхние и нижние кромки окон опорных колонн, возникающие при перемещении

захватов в окнах рейки от вертикальной качки ПБУ. Эти нагрузки и удары значительно возрастают при увеличении волнения. В связи с изложенным, это положение необходимо пройти как можно быстрее.

После этого начинается подъем корпуса ПБУ по колоннам и одновременно заглубление колонн в грунт. Работа ведется всеми подъемниками одновременно. При возникновении крена или дифферента корпус выравнивают.

В процессе подъема корпуса опорные колонны задавливаются в грунт в несколько этапов. Первый этап производится, когда давление в рабочих полостях силовых цилиндров достигнет 25% от давления, соответствующего номинальной нагрузке на колонну $q_{вн}$. Для этого останавливают подъемники двух колонн, расположенных на одной из диагоналей корпуса ПБУ. Два других подъемника продолжают работать, разгружая остановленные колонны и задавливая работающие колонны. Задавка продолжается до тех пор, пока давление в рабочих полостях силовых гидроцилиндров остановленных колонн не спустится почти до нуля; давление в рабочих полостях силовых гидроцилиндров при этом достигнет примерно 45% от $q_{вн}$.

Аналогично задавливают вторую пару колонн. Затем давление в гидроподъемниках выравнивают и подъем корпуса продолжается до тех пор, пока давление в рабочих полостях силовых гидроцилиндров подъемников не достигнет 40% от $q_{вн}$. После этого производится вторая задавка колонн в грунт до давления в рабочих полостях гидроцилиндров задавливаемых опор около 75% от $q_{вн}$ (задавка производится аналогично описанной выше). Затем давление снова выравнивают и подъем корпуса продолжается.

Следующая задавка производится после достижения давления 70% от $q_{вн}$ и т. д.

Окончательная задавка колонн в грунт производится, когда корпус ПБУ полностью выйдет из воды и прекратятся удары волн о днище. После достижения максимального давления подъемники останавливаются и «выдерживаются» под максимальной нагрузкой в течение 20—30 мин. Если при этом не происходит значительного перераспределения нагрузки между колоннами (изменения давления в рабочих полостях гидроцилиндров), задавка считается законченной.

После окончательной задавки выравнивают давление в рабочих полостях силовых гидроцилиндров подъемников, поднимают корпус ПБУ на заданную высоту над уровнем моря. Корпус ПБУ тщательно выравнивают и закрепляют с помощью механических стопорящих устройств, а гидросистемы подъемников разгружают — ПБУ установлена в рабочее положение.

После окончания бурения скважины ПБУ должна быть переведена на новую точку. Для этого ее готовят к снятию: передвигают портал, лишние грузы снимают, производят

удифференговку ПБУ, оставшиеся грузы закрепляют. На время спуско-подъемных операций и перехода на новую точку бурения на ПБУ обычно остается только часть команды, необходимая при проведении этих мероприятий.

Корпус ПБУ с помощью гидравлического подъемника поднимается на 10—15 мм для разгрузки механических стопоров и снятия их, а затем начинается спуск корпуса ПБУ. При спуске корпуса следят за его креном и дифферентом (при необходимости корпус выравнивают), а также за распределением нагрузки от веса корпуса между колоннами. Следует иметь в виду, что при спуске величина давления в рабочей полости силовых гидроцилиндров постоянна и не зависит от нагрузки на колонну (она определяется настройкой дросселя). Увеличение давления в нерабочей полости (нижней) силовых гидроцилиндров подъемника свидетельствует об уменьшении нагрузки на колонну.

По мере того как корпус ПБУ входит в воду, возрастает давление в нерабочих полостях силовых гидроцилиндров подъемников всех четырех опорных колонн. Затем приступают к «выдергиванию» опорных колонн из грунта. При этом возможны два случая. В первом случае все колонны одновременно легко выходят из грунта, надводный борт сохраняется достаточно большим. Во втором случае колонны вследствие присоса и трения прочно удерживаются в грунте. Корпус ПБУ «затягивается» подъемниками в воду и может получить значительный крен и дифферент. Высота надводного борта уменьшается до минимально допустимой. Колонны выдергивают попарно: сначала по одной диагонали, а затем по другой. В первую очередь выдергивают колонны, наиболее прочно удерживающиеся в грунте.

После «выдергивания» колонны поднимают в транспортное положение и при необходимости закрепляют с помощью механических стопоров. Плавающая буровая установка готова к переходу на новую точку бурения.

При выполнении работ по постановке ПБУ на точку бурения и снятии с нее оператору, кроме имеющейся на пульте управления подъемом информации, указанной в § 5 гл. VI, необходимо знать следующее.

1. Глубину моря в месте установки (замеряется при проведении исследований грунта).

2. Положение опорных колонн относительно корпуса ПБУ (определяется визуально по меткам на опорных колоннах).

3. Нагрузку на каждую опорную колонну при подъеме и спуске корпуса ПБУ; она определяется как разность усилий по верхним (рабочим) и нижним (нерабочим) полостям гидроцилиндров подъемника

$$P_{\text{к}} \approx P_{\text{в}} - P_{\text{н}} \quad (\text{XI.1})$$

Так как усилие, создаваемое полостями гидроцилиндров, пропорционально давлению в них,

$$P_K \approx k_1 q_B - k_2 q_H, \quad (XI.2)$$

где q_B и q_H — давление соответственно в верхних и нижних полостях силовых гидроцилиндров; k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности, постоянные для каждой ПБУ; например, для ПБУ «Апшерон» $k_1 = 415$ кН/МПа, $k_2 = 553$ кН/МПа.

При подъеме корпуса ПБУ, так как $q_H \approx 0$, формула (XI.2) принимает вид:

$$P_K \approx k_1 q_B. \quad (XI.3)$$

При спуске корпуса ПБУ, так как давление в верхних полостях силовых гидроцилиндров постоянно, формула (XI.2) принимает вид:

$$P_K \approx \text{const} - k_2 q_H, \quad (XI.4)$$

т. е. нагрузка на колонну при спуске определяется давлением в нижней (нерабочей) полости.

4. Зная нагрузки на опорные колонны, можно судить об осадке корпуса ПБУ при его подъеме или спуске, а также прогнозировать осадку после спуска его на воду.

Для корпуса с прямостенными бортами изменение осадки при подъеме или спуске пропорционально изменению нагрузки на опорные колонны

$$\Delta d = k'_3 \Sigma \Delta P_K. \quad (XI.5)$$

При подъеме корпуса, если вести отчет изменения осадки с момента начала подъема корпуса, $\Delta P_K = P_K$ и формула (XI.5) принимает вид:

$$\Delta d_H = d - d_0 \approx k'_3 \Sigma P_K = k_3 \Sigma q_B. \quad (XI.6)$$

При спуске корпуса изменение осадки равно его осадке и формула (XI.5) для этого случая принимает вид:

$$\Delta d_c = d_c \approx k_4 \Sigma q_H. \quad (XI.7)$$

Здесь d — осадка корпуса ПБУ; d_0 — осадка корпуса ПБУ без опорных колонн; k'_3 , k_3 и k_4 — коэффициенты пропорциональности, постоянные для каждой ПБУ; например, для ПБУ «Апшерон» $k_3 = 0,0672$ м/МПа, $k_4 = 0,0895$ м/МПа.

5. Расстояние от башмака опорной колонны до грунта при спуске опорных колонн может быть определено по формуле (рис. 62, а)

$$h'_3 = H - h' - d, \quad (XI.8)$$

где H — глубина моря; h' — длина спущенной части колонны; d — осадка корпуса ПБУ.

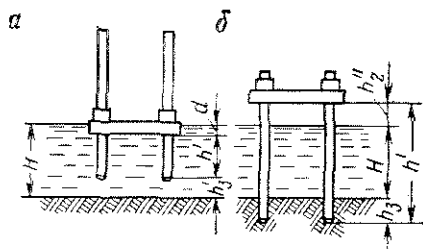


Рис. 62. Положения корпуса и опорных колонн ПБУ относительно дна и уровня моря:

a — подъем и спуск опорных колонн; *b* — подъем и спуск корпуса ПБУ

6. Заглубление опорной колонны в грунт (рис. 62, б). Если корпус находится в воде с осадкой d , заглубление определяется по формуле

$$h_3 = h' + d - H. \quad (\text{XI.9})$$

В момент отрыва корпуса от воды ($d=0$) заглубление равно:

$$h_3 = h' - H. \quad (\text{XI.10})$$

Если корпус находится над водой, заглубление определяется по формуле

$$h_3 = h' - H - h_2'', \quad (\text{XI.11})$$

где h_2'' — высота подъема корпуса над водой

$$h_2'' = h' - H - h_3. \quad (\text{XI.12})$$

Для получения заданной высоты подъема корпуса над водой h_2'' при заглублении колонны в грунт h_3 необходимая длина спущенной части колонны определяется по формуле

$$h' = h_2'' + H + h_3. \quad (\text{XI.13})$$

Для определения параметров, перечисленных выше, можно использовать также специально построенные номограммы [36].

На рис. 63 и 64 приведены номограммы, разработанные для ПБУ «Алшерон». По номограмме на рис. 63 для известной глубины моря H можно определить:

расстояние h_3' пяты опорной колонны до грунта при осадке d и длине спущенной части колонны h' или номеру окна рейки N , соответствующему длине h' (ключ 1);

заглубление опорной колонны в грунт h_3 при осадке d и длине спущенной части колонны h' (ключ 1^а);

заглубление опорной колонны в грунт h_3 в момент отрыва корпуса от воды ($d=0$) и длине спущенной части колонны h' (ключ 2);

заглубление опорной колонны в грунт h_3 при высоте корпуса ПБУ над водой h_2'' и длине спущенной части колонны h' (ключ 3);

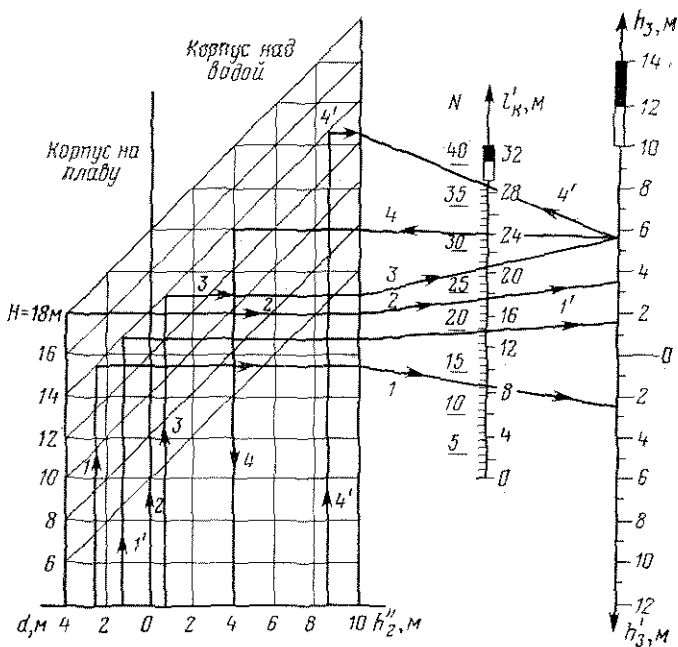


Рис. 63. Номограмма для определения положения корпуса и опорных колонн ПБУ относительно дна и уровня моря

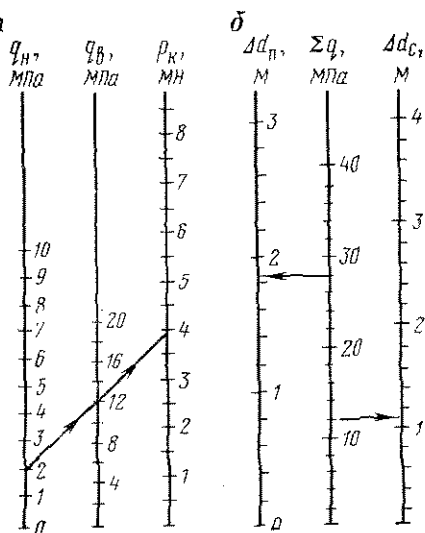


Рис. 64. Номограммы для определения:

а — нагрузок на опорные колонны; б — изменения осадки при подъеме и спуске корпуса ПБУ

высоту подъема корпуса ПБУ над водой h_2'' при длине спущенной части колонны h' и заглублении опорной колонны в грунт h_3 (ключ 4);

необходимую длину спущенной части колонны h' при за-

глублении опорной колонны h_3 для получения заданной высоты подъема корпуса над водой h_2'' (ключ 4¹).

По номограммам на рис. 64 определяют:

нагрузку на опорную колонну по известным давлениям в верхних и нижних полостях (рис. 64, а);

изменение осадки корпуса по сумме давлений в верхних или нижних полостях всех опорных колонн (рис. 64, б).

§ 4. УДИФФЕРЕНТОВКА ПБУ

В процессе эксплуатации ПБУ (в особенности после перевода корпуса из рабочего положения в транспортное) очень важно, чтобы установка была удифферентована, т. е. не имела бы значительных крена и дифферента после перевода ее в положение на плаву. Обычно на ПБУ имеются схема и таблицы удифферентовки. На схеме показано расположение всех переменных грузов (бурового раствора, технической воды, цемента, барита, бентонита, УШР, труб, портала с вышкой, дизельного топлива, масла, пресной воды и т. д.). В отдельных таблицах приведены масса балластной воды, глинистого раствора, топлива и других материалов в различных отсеках в зависимости от уровней жидкости в них. В сводной таблице удифферентовки приведены масса и координаты центра тяжести ПБУ порожнем ($\Delta_{пор}$, x_0 , y_0 , z_0). В нее же записываются следующие сведения (на данный момент времени):

- 1) масса переменных грузов P_i ;
- 2) расстояния центров тяжести переменных грузов от основной линии z_i , от миделя x_i и от диаметральной плоскости y_i ;
- 3) статические моменты

$$M_{z_i} = P_i z_i; \quad M_{x_i} = P_i x_i$$

(со знаком «+» для грузов, расположенных в направлении носа от миделя; со знаком «—» для грузов, расположенных в направлении кормы от миделя);

$$M_{y_i} = P_i y_i$$

(со знаком «+» для грузов, расположенных вправо от диаметральной плоскости; со знаком «—» для грузов, расположенных влево от диаметральной плоскости).

Пользуясь сводной таблицей удифферентовки, определяют массу и координаты центра тяжести ПБУ, а также количество и расположение необходимого балласта для того, чтобы установка находилась на плаву без крена и дифферента, т. е. чтобы соблюдались условия:

$$\Sigma M_{x_i} = \Sigma P_i x_i + \Delta_{пор} x_0 + P_6 x_6 \approx 0,$$

$$\Sigma M_{y_i} = \Sigma P_i y_i + \Delta_{пор} y_0 + P_6 y_6 \approx 0,$$

где P_6 , x_6 , y_6 — вес и координаты центра тяжести балласта.

§ 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ПБУ

Под живучестью ПБУ понимается способность сооружения противостоять аварийным повреждениям, возникновению и распространению пожаров, взрывов, сохраняя в достаточной мере мореходные качества на плаву и эксплуатационные качества в рабочем положении при обеспечении безопасности находящихся на ПБУ людей. Живучесть ПБУ в положении на плаву обеспечивается выполнением наставления НБЖС—70*. В рабочем положении живучесть ПБУ обеспечивается: по общесудовой части — выполнением указанных выше наставлений, при производстве буровых работ — выполнением правил, изложенных в [25], и соответствующих инструкций. Особыми условиями эксплуатации, требующими принятия мер по обеспечению живучести ПБУ, являются:

образование грифона вблизи ПБУ;

неуправляемое нефтегазовое проявление из скважины; просадка опорных колонн в грунт; ледоход.

Образование грифона вблизи ПБУ представляет большую опасность для сооружения. Грифон может размыть грунт в районе опорных колонн, что вызовет аварию. Степень опасности определяется интенсивностью и частотой действия грифона, местом его расположения относительно опорных колонн. Поэтому при появлении грифона за ним ведется круглосуточное наблюдение. Если грифон находится вблизи опорных колонн или передвигается по направлению к ним — бурение немедленно прекращают и вызывают спасательные суда. Одновременно начинается подготовка к снятию ПБУ с точки бурения; корпус приспускают и оставляют над водой на высоте 0,5—2,0 м (в зависимости от погодных условий). В случае необходимости корпус переводят в положение «на плаву», колонны приподнимают и установка дрейфует до подхода судов. Решение об экстренном снятии ПБУ с точки бурения принимает начальник установки.

В случае угрожающего положения и при погодных условиях, не позволяющих снятия ПБУ, начальник установки может принять решение о срочной эвакуации людей с помощью спасательных судов или вертолетов.

Неуправляемое нефтегазовое проявление из скважины. При нефтегазопроявлении силами буровой бригады принимаются все меры для его ликвидации. Если скважину не удалось взять под контроль и имеется реальная опасность нефтегазового выброса, начальник ПБУ должен принять решение о срочной эвакуации всех людей с установки. О состоянии скважины сообщают на береговую базу и вызывают спасательные сред-

* Наставление по борьбе за живучесть судов морского флота Союза ССР (НБЖС—70). М., Реклабюро ММФ, 1971.

ства для эвакуации людей. При необходимости эвакуация может производиться с помощью имеющихся на борту ПБУ спасательных средств.

Просадка опорных колонн в грунт может происходить вследствие подвижек грунта, вымывания грунта из-под опорных колонн подводными течениями и волнением, вибрации ПБУ от работы бурового оборудования, переменных нагрузок на колонны при шторме. Просадка представляет существенную опасность для сооружения. Она может проявиться в возникновении крена или дифферента корпуса. Поэтому при стоянке ПБУ на колоннах систематически наблюдают за положением корпуса. В случае появления крена или дифферента бурение прекращается, подъемники ПБУ приводят в рабочее положение — выравнивают корпус, затем повторно задавливают колонны в грунт.

Просадка или вымывание грунта под одной из опорных колонн может внешне и не проявиться. Установка может продолжать стоять на трех колоннах, не наклонившись, в то время как грунт под четвертой колонной потерял несущую способность. Этот случай наиболее опасен. При шторме вся нагрузка будет восприниматься тремя колоннами из четырех, что может привести к аварии. Поэтому необходим систематический контроль (не реже 1 раза в неделю) за несущей способностью грунта под колоннами. Такой же контроль должен проводиться после каждого шторма. Для этого включают подъемники всех опорных колонн, корпус приподнимается на 10—20 мм так, чтобы нагрузка передавалась через цилиндры подъемника, а не через разгружающие стопорные винты. При равномерном нагружении всех опорных колонн давление в верхних полостях цилиндров всех подъемников должно быть примерно одинаковым. Если под одной из колонн грунт потерял несущую способность, давление в цилиндрах ее подъемника будет меньше, чем по другим колоннам. В этом случае колонны задавливают повторно.

Ледоход. Проектируют и строят ПБУ с учетом определенных ожидаемых в районах эксплуатации ледовых условий: наличия ледовых полей, толщины льда и его дрейфа. Когда ПБУ не предназначена для работы в ледовых условиях, а такие условия возникли, необходимо принять соответствующие меры. Ледовые нагрузки на опорные колонны могут быть существенно уменьшены обкалыванием льда вокруг ПБУ ледоколами. Обкалывать лед следует постоянно, чтобы исключить возможность подхода к ПБУ ледовых полей. При создании угрожающего положения установка должна быть срочно снята с точки и отбуксирована в укрытие.

Кроме ледовых нагрузок, большую опасность при работе ПБУ в условиях низких температур представляет обледенение опорных колонн. При обледенении колонн волновые нагрузки

на них резко возрастают, что может привести к аварии. Кроме того, обледенение колонны препятствует переводу ПБУ из рабочего положения в транспортное. Борьба с обледенением можно путем обмыва колонн горячей водой или паром.

Для организованной эвакуации людей на ПБУ предусматривается соответствующее расписание тревог, устанавливается оповещение по системе авральной сигнализации и радиотрансляции, назначаются ответственные лица по проведению каждой операции эвакуации. Предусматривается определенный порядок обучения личного состава ПБУ действиям при эвакуации и периодически проводятся тренировочные занятия.

СЛОВАРЬ НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ ТЕРМИНОВ

Бимс — поперечная балка (брус), поддерживающая палубу и составляющая часть поперечного набора корпуса судна.

Глиссада — светотехническая часть оборудования взлетно-посадочной площадки для вертолета.

Движитель судовой — устройство для получения силы, вызывающей движение (ход) судна, — гребной винт, крыльчатый движитель и др.

Диаметральная плоскость — продольная вертикальная плоскость, делящая судно по ширине на две симметричные части.

Дифферент — разница между углублениями носа и кормы судна.

Карлингс — продольная подпалубная балка, поддерживающая бимсы и увеличивающая продольную прочность корпуса судна.

Кингстон — бортовой или донный клапан в подводной части судна, служащий для доступа внутрь судна забортной воды.

Кнехт — часть швартовного устройства судна, за которую закрепляются швартовные и буксирные тросы.

Кница (косынка) — лист стали небольших размеров треугольной или другой формы, служащий для соединения деталей набора корпуса судна, — шпангоутов, бимсов и т. д., расположенных под углом друг к другу.

Клюз — отверстие в борту или транце судна, окаймленное массивной рамой. Через якорный клюз пропускают якорную цепь, через бортовой — швартовный канат.

Крен — поперечное наклонение судна на борт, т. е. поворот вокруг продольной оси. Крен измеряется в градусах кренометра.

Комингс — листы, окаймляющие вырезы или ограничивающие поверхности переборок, палуб, площадок и др.

Мидель — средний. Мидель-шпангоут — среднее по длине корпуса судна сечение.

Надстройки — части корпуса судна, находящиеся выше непрерывной палубы.

Площадь ватерлинии — площадь, ограниченная линией, образуемой пересечением поверхности судна плоскостью, параллельной плоскости спокойной воды.

Посадка — положение судна по отношению к поверхности спокойной воды.

Полубрага — стальной трос, обнесенный вдоль обоих бор-

тов и закрепленный обухом к корпусу. За нее крепится буксирный трос.

Роульс — валик на оси, облегчающий тягу троса.

Рубка — закрытое помещение на мостике или верхней палубе в виде надстройки, не доходящей до бортов судна.

Теоретический чертеж — чертеж, изображающий в трех основных плоскостях проекций поверхность судна без наружной обшивки.

Транец — плоская оконечность судна в подводной части.

Шпангоут — 1. Поперечная связь корпуса судна, идущая по борту и придающая корпусу поперечную прочность. 2. Поперечное сечение на теоретическом чертеже корпуса.

Штатная переборка — металлическая или деревянная стенка, разделяющая судовые помещения, устанавливается при постройке судна. В отличие от монтажной переборки, устанавливаемой для сохранения контура секций или модулей и в дальнейшем демонтируемой, штатная переборка является постоянной конструкцией корпуса.

Якорь становой — главный якорь судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агагусейнов Ю. А., Вишневецкая Э. Л., Саркисов В. Г.* Определение необходимой мощности буксиров для перехода ПБУ с одной точки бурения на другую. — Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1974, № 10.
2. *Ананьев И. В.* Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. М., Гостехиздат, 1946.
3. *Афонин Э. М., Кацман Ф. М., Луковников А. А.* Гребные винты. Расчеты и требования к изготовлению. Л., Морской транспорт, 1959.
4. *Бакулина В. В., Вишневецкая Э. Л., Саркисов В. Г.* Выбор аэродинамических коэффициентов для расчета площади парусности ПБУ. Труды НИИ Гипроморнефть. Баку, вып. VII. 1974.
5. *Барштейн М. Ф.* Воздействие ветра на здания и сооружения. Труды ЦНИИСК, М., вып. 21. 1973.
6. *Барштейн М. Ф.* Ветровая нагрузка на здания и сооружения. — Строительная механика и расчет сооружений, 1974, № 4.
7. *Башта Т. М.* Гидравлические и пневматические устройства летательных аппаратов. М., Машиностроение, 1967.
8. *Башта Т. М.* Машиностроительная гидравлика. М., Машгиз, 1971.
9. *Благовецкий С. Н., Холодилин А. Н.* Справочник по статике и динамике корабля. Л., Судостроение, 1975, т. I и т. 2.
10. *Белоусов Д. И., Роцупкин В. И.* Буровые установки. М., Недра, 1973.
11. *Гидравлика*, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. М., Машиностроение, 1970.
12. *Гидравлика и гидроприводы* / В. Г. Гейтер, В. С. Дулин А. Г. Бо-руменский, А. А. Заря. М., Недра, 1970.
13. *Девнин С. И.* Аэродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций. Л., Судостроение, 1967.
14. *Иночкин П. Т., Прокшиц В. А.* Справочник бурового мастера. М., Недра, 1968.
15. *Киселев В. А.* Строительная механика. М., Госстройиздат, 1960.
16. *Проблемы* повышения напряжения в судовых электроэнергетических системах / Г. И. Китаенко, Ю. П. Коськин, П. Г. Мещеряков, М. Б. Минкин. — Судостроение, 1975, № 3.
17. *Пути* создания электроэнергетических систем большой мощности / Г. И. Китаенко, Ю. П. Коськин, П. Г. Мещеряков, М. Б. Минкин. — Судостроение, 1974, № 10.
18. *Кулиев И. П.* Основные вопросы строительства нефтяных скважин в море. Баку, Азернефтнешр, 1958.
19. *Лейбензон С. Р.* Двухузловой движительный комплекс. — Труды Союзморниипроект. М., вып. 22, 1964.

20. *Мещанинов Л. А.* Автоматизация судовых электроэнергетических систем. Л., Судостроение, 1970.
21. *Методика* расчета плавучих буровых установок самоподъемного типа для бурения скважин в море / Ю. А. Агагусейнов, И. П. Кулиев, М. Н. Мочалов, В. Г. Саркисов.— Нефтяное хозяйство, 1972, № 2.
22. *Ногид Л. М.* Теория проектирования судов. Л., Судпромгиз, 1955.
23. *Определение* коэффициента динамичности для расчета волновых нагрузок на гидротехнические сооружения / Ю. А. Агагусейнов, Э. Л. Вишневецкая, В. Г. Саркисов, И. И. Семенова.— Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1975, № 4.
24. *Панов В. А.* Судовые электростанции и расчет их мощности. Л., Судостроение, 1965.
25. *Правила* безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. М., Недра, 1974.
26. *Правила* изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования ОАА. 684.053—67. М., Энергия, 1969.
27. *Регистр СССР.* Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. Л., Транспорт, 1974.
28. *Регистр СССР.* Правила классификации и постройки морских судов. Л., Транспорт, 1974, т. 1.
29. *Регистр СССР.* Правила по конвекционному оборудованию морских судов. Л., Транспорт, 1974.
30. *Сабуров К. В., Кузовов А. Ф.* Электроэнергетика плавучих буровых установок.— Судостроение, 1975, № 10.
31. *Савицкий Г. А.* Ветровая нагрузка на сооружения. М., Стройиздат, 1972.
32. *Судовые* и стационарные газотурбинные установки закрытого цикла / С. Н. Гаврилов, Г. Г. Жаров, А. А. Канаев и др. Л., Судостроение, 1971.
33. *Саркисов В. Г.* Расчет свободностоящего ствола скважины, пробуренной с ПБУ.— Бурение, 1976, № 5.
34. *Саркисов В. Г., Семенова И. И., Смагин И. Ф.* Определение периода собственных колебаний плавучих буровых установок.— Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1976, № 7.
35. *Саркисов В. Г., Фиш Э. Р.* Постановка самоподъемных плавучих буровых платформ на точку бурения.— Нефтяное хозяйство, 1973, № 8.
36. *Семенов-Тянь-Шанский В. В., Благовещенский С. Н., Холодильн А. Н.* Качка корабля. Л., Судостроение, 1969.
37. *Справочник* проектировщика. Сложные основания и фундаменты. М., Стройиздат, 1969.
38. *Прочность, устойчивость, колебания.* Справочник. М., Машиностроение, 1968, т. 1, 2 и 3.
39. *Хаймович Е. М.* Гидроприводы и гидроавтоматика станков. Киев, Машгиз, 1959.
40. *Шиманский Ю. А.* Справочник по строительной механике корабля. Л., Судпромгиз, 1958, т. 1 и 2.
41. *Экспериментальное* изучение колебаний нефтепромысловых сооружений при нерегулярном волнении / М. Ф. Барштейн, А. Н. Зубков, Б. Е. Маслов, П. К. Шкляревский.— Труды ЦНИИСК, М., вып. 34, 1974.

42. Яковлев Г. С. Судовые электроэнергетические системы. Л., Судостроение, 1967.

43. *Rules for the Construction and Classification of ships or platforms for drilling.* Registro Italiano Navale, 1972.

44. *Rules for Building and Classing.* Offshore Mobile Drilling Units. American Bureau of Shipping, 1973.

45. *Rules and Regulations for the Construction and Classification of Offshore Platforms.* Bureau Veritas, 1975.

46. *Rules for the Classification and Construction of Ocean — Going Platforms.* Germanischer Lloyd, 1971.

47. *Rules for the Construction and Classification of Mobile Offshore Units.* Lloyd's Register of Shipping, 1972.

48. *First* in the world gas turbin on the drilling unit. «Oil and Gas J.», 1966, No 11, p. 34—35.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|------------|
| Предисловие | 3 |
| Глава I. Назначение, область применения, основные типы и компоновка ПБУ | 6 |
| § 1. Классы и типы плавучих буровых средств | 6 |
| § 2. Конструкция и принцип работы самоподъемных ПБУ | 10 |
| § 3. Факторы, определяющие основные размеры и архитектурный тип ПБУ | 11 |
| § 4. Архитектурно-конструктивный тип ПБУ | 18 |
| Глава II. Расчет ПБУ как плавящего сооружения | 26 |
| § 1. Основные размеры ПБУ | 26 |
| § 2. Остойчивость ПБУ | 28 |
| § 3. Непотопляемость | 32 |
| § 4. Период качки ПБУ на тихой воде | 32 |
| § 5. Периоды собственных колебаний опорных колонн в транспортном положении | 34 |
| § 6. Определение инерционных усилий в опорной колонне от качки ПБУ | 34 |
| § 7. Определение изгибающего момента в приспущенной колонне | 37 |
| § 8. Буксировочное сопротивление | 38 |
| Глава III. Гидротехнический расчет ПБУ | 42 |
| § 1. Определение периода собственных колебаний ПБУ (приближенная формула) | 43 |
| § 2. Волновая нагрузка | 44 |
| § 3. Нагрузка от течения | 53 |
| § 4. Ветровая нагрузка | 53 |
| § 5. Определение периода собственных колебаний ПБУ (уточненная методика) | 57 |
| § 6. Расчет ПБУ в рабочем положении | 64 |
| Глава IV. Корпус ПБУ | 68 |
| § 1. Конструкция корпуса | 68 |
| § 2. Общая прочность корпуса | 69 |
| § 3. Местная прочность корпуса | 75 |
| § 4. Размеры связей корпуса | 76 |
| Глава V. Опорные колонны ПБУ | 78 |
| § 1. Конструкции опорных колонн и их расчет на общую прочность | 78 |
| § 2. Определение жесткости опорных колонн | 84 |
| § 3. Расчет местной прочности четырехгранной решетчатой опорной колонны | 89 |
| Глава VI. Подъемные механизмы ПБУ и системы их управления | 99 |
| § 1. Конструкции подъемных устройств | 99 |
| § 2. Гидравлические системы подъемных устройств | 108 |
| § 3. Программы работы гидравлических подъемников | 125 |
| § 4. Управление работой гидравлических подъемников | 127 |
| Глава VII. Технологическое оборудование | 140 |
| § 1. Назначение, состав и размещение технологического оборудования | 140 |
| § 2. Буровой инструмент и технологические материалы | 146 |
| § 3. Буровое и технологическое оборудование отечественных ПБУ | 148 |

| | |
|--|-----|
| Глава VIII. Энергетическая установка. Системы и трубопроводы | 161 |
| § 1. Назначение, состав и классификация энергетических установок ПБУ | 161 |
| § 2. Выбор типа первичных двигателей энергетической установки | 162 |
| § 3. Вспомогательное оборудование энергетической установки | 165 |
| § 4. Размещение и управление энергетической установкой | 167 |
| Глава IX. Судовые и специальные устройства | 170 |
| § 1. Якорное устройство | 170 |
| § 2. Швартовное устройство | 173 |
| § 3. Спасательные средства | 173 |
| § 4. Буксирное устройство | 175 |
| § 5. Сигнальные средства | 177 |
| § 6. Устройство для постановки и снятия с точки бурения | 178 |
| § 7. Устройство для пересадки людей | 181 |
| § 8. Устройство для подъема и спуска погружных насосов | 181 |
| § 9. Грузовое устройство | 181 |
| § 10. Оборудование и устройство вертолетной площадки | 182 |
| § 11. Двигатели | 182 |
| Глава X. Электрическое оборудование и средства связи | 185 |
| § 1. Электроэнергетические системы и системы электропривода плавучих буровых установок | 185 |
| § 2. Электростанция ПБУ | 188 |
| § 3. Электрооборудование плавучих буровых установок «Апшерон», «Азербайджан» и «Баки» | 189 |
| § 4. Требования к взрывобезопасности электрооборудования ПБУ | 193 |
| § 5. Средства связи и навигации | 194 |
| Глава XI. Эксплуатация ПБУ | 196 |
| § 1. Буксировка ПБУ | 197 |
| § 2. Установка ПБУ на точку бурения и отвод от нее | 197 |
| § 3. Спуско-подъемные операции при постановке ПБУ на точку бурения и снятия с нее | 199 |
| § 4. Удифферентовка ПБУ | 205 |
| § 5. Обеспечение живучести ПБУ | 206 |
| Словарь некоторых морских терминов | 209 |
| Список литературы | 211 |

**Юсиф Аббас оглы Агагусейнов,
Эсфирь Леонидовна Вишневская,
Исрафил Пири оглы Кулиев,
Сима Рахмильевич Лейбензон,
Анатолий Бенционович Маршлок,
Матвей Николаевич Мочалов,
Виктор Георгиевич Саркисов**

САМОПОДЪЕМНЫЕ ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Редактор издательства *Л. Ф. Маклакова*
Переплет художника *К. В. Голикова*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *О. А. Болтунова*
Корректор *С. С. Борисова*

Сдано в набор 16.10.78 Подписано в печать 02.03.79 Т-05835
Формат 60×90^{1/16} Бумага № 2 Гарнитура литер. Печать высокая
Печ. л. 13,5 Уч.-изд. л. 13,42 Тираж 1300 экз.
Заказ 1986/6344—5. Цена 80 коп.

Издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

80 коп.

НЕДРА

САМОПОДЪЕМНЫЕ ПЛАВУЧЕ-БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ