

ЯСЮК В. Н., ЛИВШИЦ Б. Р., ВИТРИК В. Г., ЯРЕМИЙЧУК Р. С.

САМОПОДЪЕМНЫЕ ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. СРЕДСТВА ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА	12
1.1 Насыпные острова	13
1.2 Эстакадные буровые установки	13
1.3 Платформенные буровые установки	15
1.4 Стационарные буровые установки	16
1.4.1 Ферменные основания со свайным креплением	16
1.4.2 Свайно-гравитационные основания	17
1.4.3 Гравитационные основания	17
1.5 Буровые баржи	18
1.6 Тендерные платформы	19
1.7 Полупогружные буровые установки	19
1.8 Установки на оттяжках	21
1.9 Установки на натяжных связях типа TLP	21
1.10 Самоподъемные плавучие буровые установки	22
1.11 Буровые суда	30
ГЛАВА 2. НОРМАТИВНАЯ БАЗА	31
ГЛАВА 3. ОБЗОР ПАРКА СПБУ (Лившиц Б. Р., Халикова Д. Ф., Крупнов Г. К.)	36
3.1 Общие сведения о современных СПБУ	36
3.2 Возрастной состав СПБУ	40
3.3 Распределение СПБУ по основным характеристикам	42
3.4 Основные характеристики мелкосидящих СПБУ	43
3.4.1 Общие сведения по зарубежным мелкосидящим СПБУ	43
3.4.2 Распределение мелкосидящих зарубежных СПБУ	45
3.4.3 Основные характеристики мелкосидящих СПБУ в бывшем СССР	50
3.5 Классификация СПБУ	51
3.6 Архитектурный тип СПБУ	62
3.7 Деление на взрывоопасные зоны	69
ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПБУ	74
4.1 Проектирование корпуса	74
4.1.1 Общие сведения	74
4.1.2 Выбор материала корпуса СПБУ	80
4.1.3 Толщина металла	80
4.1.4 Дополнительные критерии выбора материала	81
4.1.5 Стальные сплавы для низких температур	81
4.2 Опорно-подъемное устройство (ОПУ)	83
4.2.1 Общие сведения об ОПУ	83
4.2.2 Опорные колонны	85

4.2.3	Определение нагрузок на СПБУ от окружающей среды.....	88
4.2.4	Детерминистическая методика.....	89
4.2.5	Вероятностная методика.....	91
4.2.6	Определение внутренних усилий в элементах ОПУ.....	94
4.2.7	Распределение нагрузки между элементами узла соединения.....	98
4.2.8	Нагрузки при ударе опоры о морское дно.....	99
4.2.9	Использование метода конечных элементов.....	99
4.3	Башмаки опорных колонн.....	102
4.4	Механизм опорно-подъемного устройства.....	104
4.5	Порталы опорно-подъемного устройства.....	106
ГЛАВА 5. БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....		107
5.1	Буровое оборудование.....	107
5.2	Понятие о скважине.....	107
5.3	Классификация способов бурения.....	110
5.4	Наклонно-направленные скважины.....	112
5.5	Цикл строительства скважины.....	114
5.6	Гидравлический расчет при бурении скважины.....	117
5.7	Промывка скважин.....	118
5.8	Назначение оборудования.....	119
5.9	Состав бурового комплекса.....	120
5.10	Буровая вышка.....	123
5.11	Буровые насосы.....	126
5.12	Подвыщечное основание.....	127
5.13	Буровая лебедка.....	128
5.14	Система верхнего привода.....	129
5.15	Система пневмотранспорта.....	130
5.16	Спецустройства.....	131
5.17	Оборудование циркуляционной системы.....	131
5.18	Склад сыпучих материалов.....	132
5.19	Станция геолого-технологического контроля (СГТК).....	133
5.20	Каротажная станция.....	133
5.21	Комплект оборудования для испытания и опробования скважины.....	133
5.22	Система сжатого воздуха низкого давления.....	133
5.23	Система сжатого азота высокого давления.....	134
5.24	Оборудование для предотвращения загрязнения окружающей среды отходами бурения и цементирования.....	135
5.25	Система контроля за скважиной.....	135
5.26	Цементировочный агрегат.....	139
5.27	Системы бурового и технологического комплекса.....	141
ГЛАВА 6. ЖИЛОЙ МОДУЛЬ СПБУ.....		142
6.1	Требования к жилому модулю.....	142
6.2	Типы помещений жилого блока.....	150
6.3	Общественные помещения.....	150
6.4	Медицинский блок.....	150
6.5	Санитарно-бытовые помещения.....	150

6.6	Санитарно-гигиенические помещения.....	151
6.7	Камбузный блок.....	151
6.8	Помещения технической эксплуатации СПБ	
6.9	Требования к системам водоснабжения, канализации, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и к другим системам.....	151
6.10	Система централизованного теплоснабжения.....	154
6.10.1	Система теплоснабжения.....	154
6.10.2	Система пароснабжения.....	154
6.10.3	Система отопления.....	154
6.11	Система вентиляции жилого модуля.....	155
6.12	Система кондиционирования воздуха.....	155
ГЛАВА 7. ВЕРТОЛЕТНАЯ ПЛОЩАДКА.....		156
ГЛАВА 8. КРАНОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....		159
ГЛАВА 9. СУДОВЫЕ УСТРОЙСТВА.....		163
9.1	Спасательные средства.....	163
9.2	Якорное устройство.....	164
9.3	Швартовное устройство.....	168
9.4	Причальное устройство.....	169
9.5	Буксирное устройство.....	169
9.6	Специальные устройства.....	171
9.7	Устройство подъема и спуска колонн погружных насосов забортной воды.....	172
ГЛАВА 10. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА.....		173
ГЛАВА 11. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ.....		178
11.1	Основные параметры.....	178
11.2	Электроэнергетическая система. Источники и преобразователи электроэнергии.....	178
11.3	Генерирование и распределение электроэнергии.....	179
11.4	Коммутация, система защиты и индикация.....	180
11.5	Контроль сопротивления изоляции.....	180
11.6	Электрооборудование бурового комплекса.....	180
11.7	Электрооборудование механизмов общесудовых систем.....	181
11.7.1	Распределение электроэнергии.....	181
11.7.2	Электрооборудование судовых механизмов.....	182
11.7.3	Осветительная установка.....	182
11.8	Основное и аварийное освещение напряжением 220 В.....	182
11.9	Эвакуационное освещение.....	183
11.10	Освещение переносное низковольтное.....	183
11.11	Кабельные сети.....	183
11.12	Защита от статического электричества.....	185
11.13	Мероприятия по молниезащите.....	185
11.14	Сварочная сеть и сварочное оборудование.....	185

ГЛАВА 12. СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ	186
12.1 Общие сведения	186
12.2 Система водяного пожаротушения	187
12.3 Система пенотушения	187
12.4 Система водяного орошения и водяных завес жилого модуля	188
12.5 Система водяного орошения	188
12.6 Система углекислотного пожаротушения высокого давления	188
12.7 Система спринклерная	189
12.8 Балластная система	190
12.9 Система балластировки при задавливании опор в грунт	190
12.10 Осушительная система	191
12.11 Система сбора нефтесодержащих вод	191
12.12 Воздушные и измерительные трубы	192
12.13 Система пресной бытовой воды	192
12.14 Система бытовой заборной воды	193
12.15 Система сточная	193
12.16 Шпигаты открытых палуб	194
12.17 Система подачи заборной воды на СПБУ	194
12.18 Системы пресной технологической воды	195
12.19 Система размыва грунта	195
12.20 Система балластировки башмака	195
12.21 Система противохимической вентиляции	196
12.22 Система противодымной вентиляции	196
12.23 Система парового отопления, хозяйственного теплоснабжения, подогрева жидкостей и пропаривания цистерн	196
12.24 Система технологической вентиляции	197
12.25 Система вентиляции машинных и энергетических помещений	199
12.26 Система общесудовой вентиляции	200
12.27 Система кондиционирования воздуха	202
ГЛАВА 13. АВТОМАТИЗАЦИЯ СПБУ	203
13.1 Организация управления на СПБУ	203
13.2 Размещения основных постов управления	205
13.3 Элементная база систем АСУ	207
ГЛАВА 14. СРЕДСТВА СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И СИГНАЛИЗАЦИИ	208
14.1 Средства внешней связи	208
14.2 Средства радиотрансляции и радиовещания	209
14.3 Средства внутренней связи и сигнализации	209
14.4 Навигационное и метеорологическое оборудование	211
14.5 Средства навигационного предупреждения	211
14.6 Телевизионные средства наблюдения	211

ГЛАВА 15. ПРОЕКТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ	212
15.1 Общий подход при определении запасов на период автономности	212
15.2 Расчет запасов бурильных труб	213
15.3 Выбор основных параметров труб	213
15.4 Данные для расчета запасов труб на скважину	213
15.5 Определение размеров стеллажей	215
15.6 Размещение запасов труб на стеллажах	216
15.7 Сыпучие материалы	217
15.7.1 Запасы сыпучих материалов на СПБУ	217
15.7.2 Определение необходимого количества цементного раствора для цементирования скважины	217
15.7.3 Определение автономных запасов цемента и воды	218
15.7.4 Определение количества химреагентов для цементирования	218
15.7.5 Расчет количества камерных питателей (бункеров) для цемента	218
15.7.6 Определение необходимых объемов бурового раствора	219
15.7.7 Расчет необходимого на автономность количества компонентов бурового раствора	221
15.7.8 Расчет количества камерных питателей	221
ГЛАВА 16. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ	222
16.1 Необходимость определения количества отходов	222
16.2 Объем получаемого за автономность шлама	222
16.3 Масса шлама, извлекаемого из скважины	222
16.4 Выбуренная порода из блока очистки в шлам	223
16.5 Суммарное количество шлама из блока очистки	224
16.6 Расчет количества буровых сточных вод	224
16.7 Запасы сыпучих материалов на период автономности	224
16.8 Необходимое число контейнеров для шлама на период автономности	225
16.9 Необходимый объем резервуаров для хранения БСВ в период автономности	225
16.10 Необходимый запас технологической воды на период автономности	225
16.11 Химические реагенты	226
16.12 Объем цистерн буровых сточных вод и контейнеров для шлама	226
16.13 Дизельное топливо	227
16.14 Объем цистерн топлива	230
16.15 Объем цистерн масла	231
16.16 Пресная вода	231
ГЛАВА 17. КОМПЛЕКС НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СПБУ (Лившиц Б. Р., Шхинек К. Н.)	232
17.1 Классификация нагрузок	232
17.2 Расчетные режимы	235
17.3 Комбинации нагрузок	236
17.4 Внешние условия	237
17.5 Волновые нагрузки	243
17.5.1 Природа волнения	243
17.5.2 Элементы волн	244
17.5.3 Методы расчета элементов волн	246

17.5.4	Клиренс СПБУ	258
17.6	Ветровые нагрузки	259
17.7	Нагрузки от течения	267
17.8	Нагрузки от снега и обледенения	268
17.9	Особые нагрузки	269
17.10	Ледовые нагрузки	269
17.10.1	Ледовые нагрузки на шельфовые сооружения	269
17.10.2	Основные типы ледовых образований	271
17.10.3	Свойства льда	273
17.10.4	Сценарии взаимодействия	274
17.10.5	Сценарий ограниченного напряжения	275
17.10.6	Сценарий ограниченного количества движения	277
17.10.7	Сценарий ограниченной силы	277
17.10.8	Раскалывание	277
17.10.9	Скорость внедрения	278
17.10.10	Ледовые нагрузки в соответствии с трактовкой СНиП 2.06.04–82	278
17.11	Ледовые динамические нагрузки	281
17.11.1	Динамическое воздействие льда	281
17.11.2	Воздействие льда на одиночную опору	282
17.11.3	Картина разрушения льда и распределение напряжений по контуру сооружения от скорости движения	282
17.11.4	Аппроксимация функции $p(t, V, R_c, h, \dots)$	283
17.11.5	Синтез расчетных осциллограмм	284
17.11.6	Учет количества опор сооружения	285
17.11.7	Аппроксимации распределения давления	286
17.11.8	Нагрузка на систему опор	287
17.12	Сейсмические нагрузки	288
17.13	Определение основных динамических характеристик	291
17.13.1	Частоты собственных колебаний СПБУ	291
17.13.2	Коэффициент демпфирования пенетрации	293
17.14	Нагрузки при транспортировке	293
17.15	Нагрузки при спуско-подъемных операциях	295
17.16	Критерии оценки прочности элементов СПБУ	296
17.17	Критерий предельной прочности	298
17.18	Критерий устойчивости	305
17.19	Критерий усталостной прочности	308
17.19.1	Хрупкая прочность	314
ГЛАВА 18. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ		317
18.1	Расчеты прочности СПБУ	317
18.2	Определение общих напряжений	319
18.3	Расчет балочных систем	320
18.4	Расчет пластин	321
18.5	Устойчивость конструктивных элементов	321

ГЛАВА 19. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СПБУ И ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ	323
19.1 Геологические изыскания	323
19.1.1 Требования к подготовке отчетов	324
19.2 Выполняемые проверки	328
19.3 Исходная информация	328
19.4 Определение глубины задавливания	329
19.5 Проверка на опрокидывание	331
19.6 Проверка на скольжение	332
19.7 Недопущение просадки опорных колонн	334
ГЛАВА 20. РАСЧЕТЫ СПБУ НА ПРОЧНОСТЬ	335
20.1 Общий принцип обеспечения прочности СПБУ	335
20.2 Общая концепция расчетов	335
20.3 Расчеты прочности элементов СПБУ, обеспечивающих общую прочность	337
20.3.1 Расчет прочности при транспортировке	337
20.3.2 Расчет общей прочности	337
20.3.3 Расчеты прочности ОПУ	342
20.3.4 Расчеты прочности опорных колонн	344
ГЛАВА 21. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ СПБУ	345
21.1 Общие принципы построения моделей	345
21.2 Основные этапы создания КЭМ	346
21.3 Примеры КЭМ	349
21.4 Выбор способа моделирования	364
21.5 Граничные условия	366
21.6 Конечные элементы	366
21.7 Пример анализа результатов расчета	369
21.8 Моделирование нагрузок	371
ГЛАВА 22. МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СПБУ	373
22.1 Весовые и объемные измерители судна	373
22.2 Плавуемость СПБУ. Уравнение весов	374
22.3 Остойчивость судна	377
22.4 Остойчивость СПБУ по Правилам РМРС	380
22.4.1 Определения	380
22.4.2 Жизненный цикл СПБУ	382
22.4.3 Расчетные состояния	382
22.4.4 Расчет плеч остойчивости формы	383
22.4.5 Схемы отсеков	384
22.4.6 Расчет влияния жидкостей	384
22.4.7 Расчетные материалы, связанные с проверкой остойчивости	385
22.4.8 Общие требования к остойчивости. Варианты нагрузки	386
22.4.9 Критерии остойчивости по Правилам РМРС	387
22.4.10 Расчеты амплитуды качки	389
22.4.11 Требования к диаграмме статической остойчивости	390
22.4.12 Значения экстремальных скоростей ветра и высот волн	391

22.4.13	Посадка и остойчивость поврежденного объекта.....	393
22.4.14	Размеры и зоны расчетных повреждений.....	393
22.4.15	Непотопляемость СПБУ.....	394
22.5	Буксировка СПБУ.....	395
22.6	Качка СПБУ.....	402
ГЛАВА 23. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СПБУ (Лившиц Б. Р., Халикова Д. Ф.).....		405
23.1	Способы строительства СПБУ.....	405
23.2	Стоимость строительства СПБУ.....	418
ГЛАВА 24. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПБУ (Лившиц Б. Р., Халикова Д. Ф., Тимофеев О. Я.).....		420
24.1	Концепция определения характеристик СПБУ.....	420
24.2	Цели и задачи начального этапа проектирования СПБУ.....	420
24.3	Необходимость многокритериальной оценки.....	421
24.4	Общие закономерности решения многокритериальных задач.....	421
24.5	Составление матрицы вариантов проектных характеристик СПБУ.....	422
24.6	Критерии оценки проектных характеристик СПБУ.....	422
24.7	Методы оценки сложных систем.....	423
24.8	Экспертная оценка.....	424
24.9	Расчетная матрица критериев.....	438
24.10	Иерархия критериев.....	439
24.11	Расчетные коэффициенты важности (ранги) критериев.....	439
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		435

Основной тенденцией развития добычи нефти и газа в начале XXI века является освоение месторождений континентального шельфа. Амбициозные проекты ведущих стран, многомиллиардные долгосрочные вложения ставят перед научными работниками и проектировщиками задачи, принципиальное решение которых ранее казалось невыполнимым. Ошибки дорого обходятся – аварийное состояние или потеря сооружений и крупномасштабное загрязнение моря наносят огромный, трудно восстанавливаемый урон. Возможная гибель людей наносит невосполнимые потери.

Освоение ресурсов континентального шельфа является масштабной проблемой, стоящей в одном ряду с освоением космоса и внедрением атомной энергетики. Такие сооружения, как самоподъемные плавучие буровые установки, устанавливаемые на морское дно, подвергаются комплексу нагрузок. Волновая, ветровая, ледовая, сейсмическая и нагрузка от течения являются внешними, а нагрузки от собственного веса, функциональные нагрузки возникают в процессе эксплуатации самих сооружений.

Создание в Украине и эксплуатация специальной техники возможно на основе использования современных технологий и нацелено на решение важнейших задач по учету всего комплекса внешних нагрузок, обеспечению прочности конструкций и надежности взаимодействия самоподъемных плавучих буровых установок с грунтовым основанием.

Морской шельф осваивается более 80-ти лет. При этом использовались насыпные острова с устанавливаемым на них буровым оборудованием, сооружались эстакады, стационарные платформы, а со второй половины XX столетия начали использоваться самоподъемные буровые установки (СПБУ), полупогружные буровые установки, буровые суда.

В учебном пособии использованы многолетние исследования ведущих организаций в области проектирования средств освоения шельфа, научные исследования известных в Российской Федерации и в Украине специалистов – Тимофеева О.Я., Крупнова Г.К., Обидина Ю.И., Халиковой Д.Ф. (ЦНИИ им. ак. А.Н. Крылова), Шхинека К. Н. (Политехнический Университет, г. Санкт-Петербург), Ленского В. Ф., Алисейчика А.А., Берхина И.М. (ОАО ЦКБ “Коралл”), Игнатовича В. С. (Севастопольский Национальный Технический Университет) г. Севастополь).