

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»

В. С. Игнатович, А. В. Родькина, А. В. Кузьмина

КОНСТРУКЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЙКИ
И РЕМОНТ
МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 629.563(076.5)
ББК 39.425.3я73
И265

Р е ц е н з е н т:

О.А. Иванова – кандидат технических наук

Игнатович, В. С.

И265 Конструкция, технология постройки и ремонт морских нефтегазовых сооружений : учебно-методическое пособие / В. С. Игнатович, А. В. Родькина, А. В. Кузьмина ; Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Океанотехника и кораблестроение». – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2021. – 38 с.: ил. – Текст : электронный.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для оказания методической помощи обучающимся по специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники при выполнении практических работ и организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Конструкция, технология постройки и ремонт морских нефтегазовых сооружений».

УДК 629.563(076.5)
ББК 39.425.3я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры «Океанотехника и кораблестроение» в качестве учебно-методического пособия к выполнению практических работ и для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Конструкция, технология постройки и ремонт морских нефтегазовых сооружений» специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники, протокол № 4 от 15 марта 2021 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Содержание дисциплины	5
Практическая работа № 1. Выбор основных характеристик полупогружной плавучей буровой установки.....	8
Практическая работа № 2. Разработка и расчет прочности конструкций нижнего понтона и стабилизирующих колонн полупогружной плавучей буровой установки.....	21
Практическая работа № 3. Технология постройки корпуса полупогружной плавучей буровой установки.....	27
Вопросы для промежуточной аттестации.....	34
Рекомендованная литература.....	35
Библиографический список.....	38

ВВЕДЕНИЕ

При освоении морских месторождений нефти и газа на континентальном шельфе используются различные по назначению и конструкции технические сооружения: самоподъемные плавучие буровые установки (СПБУ), полупогружные плавучие буровые установки (ППБУ), морские стационарные платформы (МСП) и тяжелые плавкраны.

В настоящем учебно-методическом пособии студентам предлагается проанализировать архитектурно-конструктивные типы этих сооружений, по предлагаемой для начальной стадии проектирования методике и заданию на проект выбрать основные характеристики ППБУ, для которой разработать конструкцию и выполнить расчет прочности конструкций нижнего понтона, а также предложить технологию постройки сооружений в условиях отечественного судостроительного завода.

Такой комплексный подход к проектированию и постройке ППБУ позволит закрепить теоретические и практические знания при освоении настоящего курса.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Конструкция, технология постройки и ремонт морских нефтегазовых сооружений» является подготовка студентов к исполнению своих профессиональных обязанностей и формирование знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения работ по проектированию, технологии строительства, ремонту, модернизации нефтегазовых сооружений, а также условий их постройки и ремонта, подходов к организации и проведению различных видов работ в море.

Задачи:

- рассмотреть принципы и методы проектирования морских нефтегазовых сооружений (МНГС) и особенности их конструкций;
- рассмотреть принципы построения производства МНГС;
- рассмотреть основы технологических процессов и технологии производств (цехов), участвующих в создании морских нефтегазовых сооружений;
- рассмотреть принципиальные вопросы постройки морских нефтегазовых сооружений;
- рассмотреть основные понятия технологичности;
- рассмотреть принципы и основные методы определения трудоемкости и продолжительности постройки;
- рассмотреть проектные вопросы разработки технологии – основные вопросы разработки проектной (принципиальной) технологии постройки буровой установки/платформы;
- рассмотреть основы выбора предприятия-строителя;
- рассмотреть структуру, проектные, компоновочные и технологические решения судостроительных предприятий;
- рассмотреть технологические и экономические аспекты при проектировании, постройке, эксплуатации и утилизации морских нефтегазовых сооружений.

Перечни планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, приведены в табл. 1 для студентов специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники.

Т а б л и ц а 1

**Планируемые результаты обучения по дисциплине
студентами специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей,
судов и объектов океанотехники**

Код и уровень формируемой компетенции	Владения	Умения	Знания
(ПК-4) –I Способность применять методы обеспечения технологичности и ремонтпригодности судостроительной техники, требуемого уровня унификации и стандартизации	Владеть: В (ПК-4) –I.1 методами оценки технического состояния конструкций морских нефтегазовых сооружений Владеть: В (ПК-4) –I.2 методами управления, действующими технологическими процессами при создании морской техники Владеть: В (ПК-4) –I.3 методами обеспечения технологичности и ремонтпригодности морской техники	Уметь: У (ПК-4) –I.1 использовать стандарты и другие нормативные документы при оценке, контроле качества и сертификации материалов и изделий Уметь: У (ПК-4) –I.2 использовать конструкторскую и эксплуатационную документацию при планировании, подготовке и выполнении ремонтных работ на корабле	Знать: З (ПК-4) –I.1 организацию и технологию постройки морских нефтегазовых сооружений на судостроительных предприятиях Знать: З (ПК-4) – I.2 организационно-технические и технологические основы ремонта морских нефтегазовых сооружений
(ПК-6) –I Способность выполнять технологические проработки проектируемых кораблей, судов, объектов океанотехники, корпусных конструкций, корабельных систем и устройств	Владеть: В (ПК-6) –I.1 навыками самостоятельной работы с научно-технической и справочной литературой, проектной и эксплуатационной документацией по морским нефтегазовым сооружениям Владеть: В (ПК-6) –I.2 методами разработки технической документации по соблюдению технологической дисциплины в условиях действующего судостроительного и судоремонтного производства Владеть: В (ПК-6) –I.3 методами технического и технологического проектирования с использованием современных информационных технологий	Уметь: У (ПК-6) –I.1 читать и разрабатывать конструкторскую документацию для морских нефтегазовых сооружений Уметь: У (ПК-6) –I.2 применять теоретические знания для оценки технического состояния судовых конструкций морских нефтегазовых сооружений в процессе их эксплуатации	Знать: З (ПК-6) –I.1 методы технического обслуживания и ремонта морских нефтегазовых сооружений Знать: З (ПК-6) –I.2 основы оформления технической документации, стандарты и правила построения и чтения чертежей морских нефтегазовых сооружений Знать: З (ПК-6) –I.3 конструкцию корпуса морских нефтегазовых сооружений и его составных частей; принципы рационального конструирования стержней и их систем в зависимости от вида деформирования

Содержание дисциплины включает следующие разделы и темы:

Раздел 1. Особенности проектирования конструкций морских нефтегазовых сооружений (МНГС).

Тема 1. Морская добыча нефти. Классификация МНГС.

Тема 2. Архитектурно-конструктивный тип МНГС.

Тема 3. Особенности конструкций корпусов МНГС.

Раздел 2. Технология и методы постройки и ремонта морских нефтегазовых сооружений.

Тема 4. Методы постройки самоподъемных плавучих буровых установок (СПБУ).

Тема 5. Методы постройки полупогружных плавучих буровых установок (ППБУ).

Тема 6. Методы постройки морских стационарных платформ (МСП).

Тема 7. Изготовление узлов, секций и блоков корпусов.

Тема 8. Изготовление опор СПБУ.

Тема 9. Изготовление стабилизирующих колонн ППБУ.

Тема 10. Испытания и сдача МНГС.

Тема 11. Особенности ремонта МНГС.

Практическая РАБОТА № 1.

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

ПОЛУПОГРУЖНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: расчет основных характеристик корпуса и параметров качки полупогружной буровой установки на начальных стадиях проектирования.

1.1. Теоретический раздел

В настоящее время происходит интенсивное освоение шельфа с целью промышленной добычи нефти и газа путем строительства в открытом море морских стационарных оснований. Для выполнения разведочных скважин при глубине моря до 200 – 250 м используются полупогружные плавучие буровые установки (ППБУ). Основным требованием, предъявляемым к таким буровым установкам, является возможность выполнения операций по проходке скважины при ветре до 7 и волнении до 5 баллов [1]. В наибольшей степени этому требованию удовлетворяют полупогружные буровые установки с двумя параллельными нижними корпусами прямоугольного типа, на каждом из которых установлено несколько стабилизирующих колонн прямоугольной или круглой формы, на которые опирается верхний корпус, несущий на себе буровую вышку с оборудованием, жилой блок и другое оборудование [2]. Поскольку число отечественных построенных и проектируемых буровых установок рассматриваемого типа относительно невелико, то в настоящее время отсутствуют опубликованные методики определения их главных размерений и основных характеристик на начальных стадиях проектирования.

Настоящие рекомендации позволяют, исходя из данных технического задания на проектирование ППБУ, определить главные размерения нижних корпусов, размеры и количество стабилизирующих колонн, метацентрическую высоту и параметры вертикальной качки в рабочем (полупогружном) состоянии, влияющих на процесс бурения скважин.

Приведенные формулы могут быть использованы для составления алгоритма и программы для вычисления на ПК указанных характеристик.

Студент, варьируя исходными данными, может получить ряд проектных решений, позволяющих выбрать наиболее оптимальные значения характеристик сооружения, которые будут уточнены на последующих стадиях проектирования.

Как показывает анализ мирового, в том числе и отечественного опыта проектирования и строительства ППБУ, наиболее рациональным является архитектурно-конструктивный тип полупогружных несамоходных катамаранов, содержащих два нижних понтона, стабилизирующие колонны цилиндрической или прямоугольной формы с установленным на них верхним корпусом. Нижние понтоны имеют прямоугольное сечение со скруглен-

ными углами, цилиндрическую вставку протяженностью до 80 % длины и оконечности одинаковой формы, симметричные относительно мидель-шпангоута. Основной объем понтонов отведен под балластные цистерны, в остальных помещениях расположены насосные отделения и другое оборудование.

Принятый архитектурно-конструктивный тип рассматриваемых сооружений позволяет в значительной степени снизить качку и обеспечить выполнение операций бурения скважин при волнении до 5 баллов. Такое расширение эксплуатационных возможностей, характерное как для ППБУ, так и полупогружных крановых судов, сопровождается увеличением массы корпуса до 45 – 50 % водоизмещения порожнем, в то время как масса корпуса морских тяжелых плавкранов традиционного типа, выполняющих грузовые операции при волнении 2 – 3 балла, составляет 20 – 30 % водоизмещения. Поэтому одной из основных задач при создании ППБУ является снижение стоимости и сроков постройки за счет выбора оптимальных размеров корпуса и уменьшения металлоемкости и трудоемкости изготовления корпуса при повышении уровня технологичности и унификации конструкций.

Получение оптимальной массы корпуса связано с решением уже на начальной стадии двух задач: определение главных размерений и размеров ее частей (пontoнов, стабилизирующих колонн и верхнего корпуса) и выбор рациональных размеров обшивки и набора, исходя как из прочностных, так и технологических требований о применении блочно-модульного формирования корпуса,

Основные уравнения плавучести ППБУ:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{п}} &= \sum_{i=1}^n P_i; & \Delta_{\text{п}} &= \rho V_{\text{п}}; & d &= d_{\text{п}}; \\ \Delta_{\text{р}} &= \Delta_{\text{п}} + P_{\sigma}(d); & \Delta_{\text{р}} &= \rho V_{\text{р}}; & d &= d_{\text{р}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{п}}$, $\Delta_{\text{р}}$ – водоизмещение в походном и рабочем положении; $P_{\sigma}(d)$ – масса балласта, принимаемого в понтоны при переходе ППБУ в рабочее положение; P_i – i -я статья нагрузки ППБУ; $V_{\text{п}}$, $V_{\text{р}}$ – объемное водоизмещение в походном и рабочем положениях; $d_{\text{п}}$, $d_{\text{р}}$ – осадка в походном и рабочем положениях.

Анализируя статьи нагрузки P_i , можно отметить, что все статьи, за исключением массы металлического корпуса (технологическое оборудование и запасы, главные механизмы, судовое снабжение, топливо и экипаж), в основном зависят от глубины бурения и могут быть на начальной стадии проектирования с достаточной степенью точности приняты на основе прототипа.

При таком типе ППБУ объем принимаемого балласта для перехода в рабочее положение зависит от высоты надводного борта понтонов и объема колонн до ватерлинии рабочего положения. Выбранный таким образом

балласт необходимо разместить только в нижних понтонах, в которых также должны быть отсеки насосных отделений и топливные цистерны.

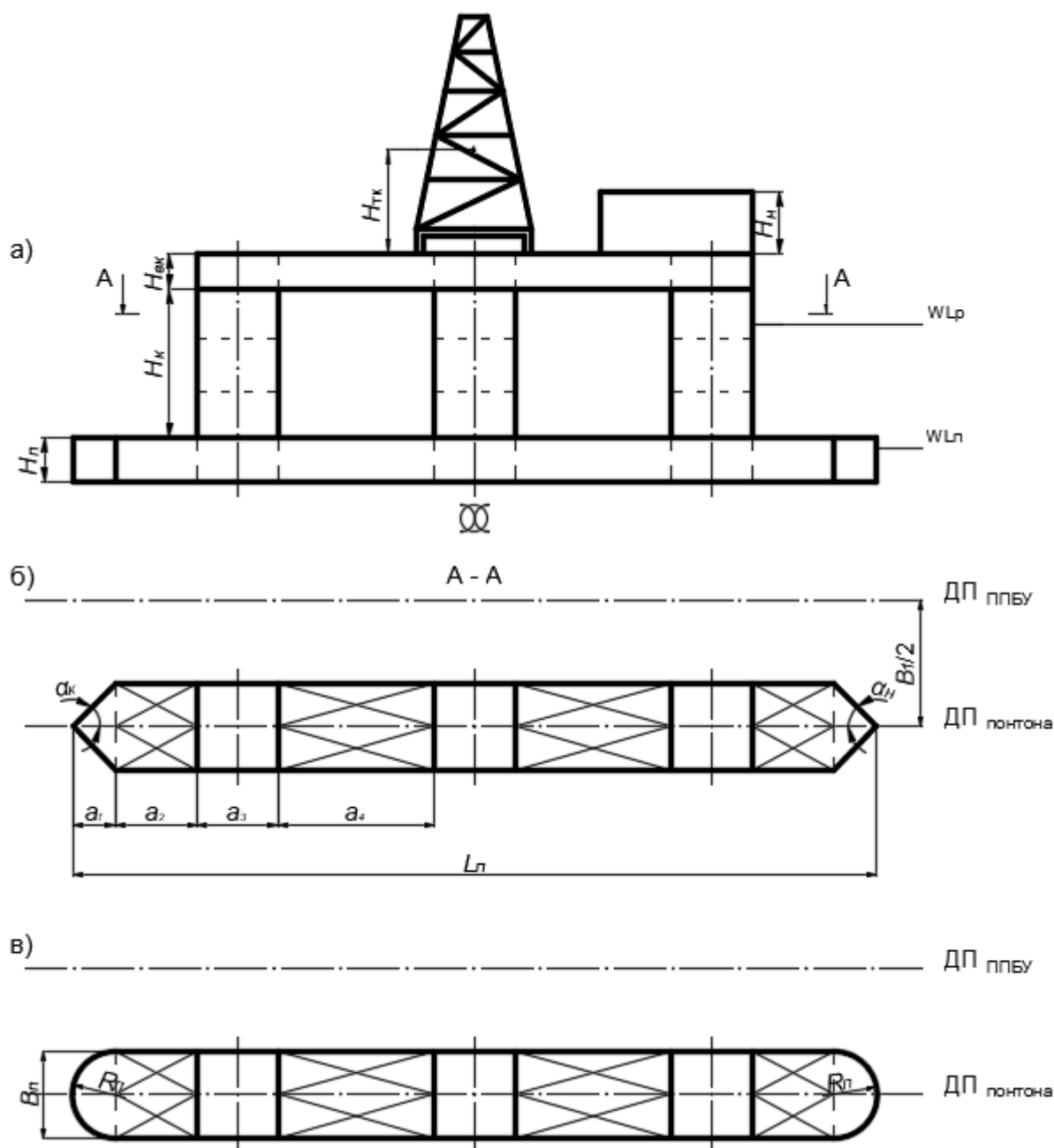


Рис. 1. Схема корпуса и нижних понтонов ППБУ:

$H_{\text{вк}}$ – высота верхнего корпуса; $H_{\text{тк}}$ – возвышение центра массы технологического комплекса над верхней палубой верхнего корпуса; $H_{\text{к}}$ – высота колонны;
 $H_{\text{п}}$ – высота борта понтона; $H_{\text{н}}$ – высота надстройки; WL_p – ватерлиния в рабочем положении; WL_n – ватерлиния в походном положении; $B_{\text{к}}$, a_3 – ширина колонны;
 $B_{\text{п}}/2$ – половина расстояния между диаметральной плоскостью понтонов;
 $L_{\text{п}}$ – длина понтона; $R_{\text{п}}$ – радиус скругления понтона.
а – боковой вид ППБУ; б – план понтона с заостренными оконечностями ($\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{к}}$);
в – план понтона с закругленными оконечностями

С другой стороны, водоизмещение в походном положении можно в первом приближении записать в виде

$$\Delta_{\text{п}} = k_p \cdot \sum_{i=1}^{n-1} P_i, \quad (2)$$

где $k_p = 1,8 - 2,1$ – коэффициент, учитывающий массу металлического корпуса в весовом водоизмещении сооружения; P_i – i -я статья нагрузки прототипа (кроме корпуса).

В качестве **исходных данных** принимаются требования, известные из технического задания (табл. 1).

1) Масса $n - 1$ нагрузки $\sum_{i=1}^{n-1} P_i$ без металлического корпуса ППБУ-прототипа с такой же глубиной бурения скважин.

2) Осадка в походном и рабочем положениях $d_{\text{п}}$ и $d_{\text{р}}$.

3) Высота расчетной волны $h_{\text{в}}$.

4) Вертикальный клиренс $h_{\text{к}}$.

5) Тип установки – ППБУ с двумя нижними понтонами.

6) Тип нижних корпусов – прямоугольные (в плане) понтоны с носовым и кормовым заострением $\alpha_{\text{к}}$, $\alpha_{\text{н}}$ или скругленными по радиусу $R_{\text{п}} = B_{\text{п}}/2$ оконечностями (рис. 1).

7) Ширина понтона с учетом ограничений, связанных с переводом установки водными путями, $B_{\text{п}} = 16 - 16,8$ м.

Т а б л и ц а 1

Варианты исходных данных

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса оборудования, ΣP_i , т	10 000		10 500		11 000		11 500		12 000	
Коэффициент нагрузки, K_p	1,8	2,0	1,8	2,0	1,8	2,0	1,8	2,0	1,8	2,0
Ширина нижнего понтона, $B_{\text{п}}$, м	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8	17,0	17,2	16,0	16,2	16,4
Осадка в походном положении, $d_{\text{п}}$, м	5,9	6,0	5,9	6,0	5,9	6,0	5,9	6,0	5,9	6,0
Осадка в рабочем положении, $d_{\text{р}}$, м	16,0	16,4	16,8	17,2	17,6	16,0	16,4	16,8	17,2	17,6
Углы носового и кормового подрезов, $\alpha_{\text{н}}$, $\alpha_{\text{к}}$, град.	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Количество колонн, n	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Возвышение центра тяжести технологического комплекса над ВП, H_{TK} , м	6,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0
Высота расчетной волны, h_B , м	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	12,0
Отношение расстояния между ДП понтонов к ширине понтона, A , м	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
Форма сечения колонн	□	○	□	○	□	○	□	○	□	○

8) Тип колонн – круглые диаметром D_k или прямоугольные с размерами ($B_k \times L_k$), число колонн принимаем $n = 4 - 8$.

9) Условия бурения – волнение до 5 баллов, ветер до 7 баллов.

Ограничения, вытекающие из условий постройки и эксплуатации установки:

- по длине ($L_n \leq L_o$) и ширине ($B_n \leq B_o$) понтона, связанные с проведением внутренними водными путями ($L_o = 140$ м, $B_o = 17,6$ м);
- по высоте понтона $H_n = 1.1 \cdot d_n$;
- по вместимости балластных цистерн понтона, так как часть объемов отводится по насосные отделения в районе стабилизирующих колонн;
- по поперечной метацентрической высоте $h \leq h_o$ (h_o – нормируемое значение метацентрической высоты в рабочем положении);
- по ширине установки $B_{ППБУ} < B_{max}$ (при необходимости).

1.2. Расчетная схема и порядок расчета характеристик ППБУ

Исходя из условий плавучести в походном и рабочем (полупогружном) положениях с учетом вышеприведенных требований технического задания получены зависимости, позволяющие вычислить характеристики понтонов и колонн, необходимые для начального проектирования [3, 4]. Для определения размеров и объемов корпуса (пontoнов, стабилизирующих колонн и верхнего корпуса) предлагается следующий **порядок расчета**.

1) Учитывая, что все статьи нагрузки кроме корпуса зависят от глубины бурения и могут быть взяты с прототипа с такой же глубиной бурения, в первом приближении водоизмещение ППБУ в походном положении может быть принято в соответствии с формулой (2).

2) Масса ППБУ

$$M_d = \frac{\Delta_{\Pi}}{g}, \quad (3)$$

где $g = 9,81$ м/с – ускорение свободного падения.

3) Объемное водоизмещение ППБУ

$$V = \frac{\Delta_{\Pi}}{\gamma}, \quad (4)$$

где $\gamma = 1,010 - 1,025$ т/м³ – плотность морской воды.

4) Ширина понтона устанавливается с учетом ограничений, связанных с переводом водными путями, обычно принимается $B_{\Pi} = 16-16,8$ м.

5) Длина понтона и коэффициент общей полноты понтона:

– для понтона с заостренными оконечностями (рис. 1, б)

при $\alpha_{\Pi} = \alpha_k = \alpha$

$$L_{\Pi} = 0,5 \left[\frac{V}{B_{\Pi} d_{\Pi}} + B_{\Pi} \operatorname{ctg} \alpha \right]; \quad (5)$$

$$\delta = 1 - 0,5 \frac{B_{\Pi}}{L_{\Pi}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha; \quad (6)$$

– для понтона со скругленными оконечностями (рис. 1, в)

$$L_{\Pi} = 0,5 \frac{V}{B_{\Pi} \cdot d_{\Pi}} + 0,215 B_{\Pi}; \quad (7)$$

$$\delta = 1 - 0,215(B_{\Pi} / L_{\Pi}). \quad (8)$$

6) Площадь ватерлинии понтона

$$S = \delta B_{\Pi} L_{\Pi}. \quad (9)$$

7) Высота борта понтона

$$H_{\Pi} = 1,1 d_{\Pi}. \quad (10)$$

8) Полный объем понтона

$$V_n = 1,1 \frac{V}{2}. \quad (11)$$

9) Ордината центра величины понтона в походном положении

$$Z_{\text{СП}} = \frac{d_{\Pi}}{2}. \quad (12)$$

10) Ордината центра величины установки

$$Z_{\text{СП}}^y = d_p - 0,5 H_{\Pi}. \quad (13)$$

11) Полная высота колонн от палубы понтона до главной палубы верхнего корпуса

$$H_k = d_p + 0,6 h_{\text{Б}} - H_{\Pi} + h_k, \quad (14)$$

где $h_k = 1,5$ м – клиренс, расстояние между гребнем расчетной волны и нижними конструкциями верхнего корпуса.

Вертикальный клиренс может быть увеличен путем откачки части балласта понтонов за счет уменьшения осадки ППБУ, поэтому при определении высоты колонн не требуется учитывать максимальную волну.

12) Высота погруженной части колонны в рабочем положении:

$$H_{кп} = d_p - H_{п}. \quad (15)$$

13) Момент инерции площади ватерлинии понтона относительно оси X для рисунков 1б и 1в соответственно:

$$I_X = \frac{B_{п}^3 \cdot L_{п}}{12} \cdot \left(1 - 0.75 \cdot \frac{B_{п}}{L_{п}} \cdot ctg \alpha\right), \quad (16)$$

$$I_X = \frac{B_{п}^3 \cdot L_{п}}{12} \cdot \left(1 - \frac{0.411\pi}{16} \cdot \frac{B_{п}}{L_{п}}\right). \quad (17)$$

14) Ордината центра масс судна в походном положении

$$Z_g = H_{п} \cdot u_d, \quad (18)$$

где

$$u_d = 0.5u_{п} + \left(1 + \frac{H_{к}}{2H_{п}}\right)u_{к} + \left(1 + \frac{H_{к}}{H_{п}} + \frac{H_{вк}}{2H_{п}}\right)u_{вк} + \\ + \left(1 + \frac{H_{к}}{H_{п}} + \frac{H_{вк}}{H_{п}} + \frac{H_{н}}{2H_{п}}\right)u_{н} + \left(1 + \frac{H_{к}}{H_{п}} + \frac{H_{вк}}{H_{п}} + \frac{H_{тк}}{H_{п}}\right)u_{тк}.$$

где $u_{п}$, $u_{к}$, $u_{вк}$, $u_{н}$, $u_{тк}$ – доля массы G_i понтонов, колонн, верхнего корпуса, надстройки и технологического комплекса от массы ППБУ $G_{ППБУ}$, т. е.

$$n_i = G_i / G_{ППБУ},$$

$H_{вк}$, $H_{н}$ – высота верхнего корпуса и надстройки,

$H_{тк}$ – возвышение центра массы технологического комплекса над верхней палубой верхнего корпуса.

Рекомендуемые значения u_i , приведены в табл. 2.

15) Относительная доля объемов насосных отделений от объема понтона

$$C_o = L_{но} / \delta L_{п}, \quad (19)$$

где $L_{но}$ – суммарная длина насосных отделений.

Т а б л и ц а 2

Значение параметров u_i

u_{Π}	u_K	u_{BK}	u_{TK}	u_H	Σu_i
0.26 – 0.27	0.13 – 0.14	0.32 – 0.33	0.21 – 0.22	0.06 – 0.07	1.0

16) Объем балласта, принимаемого понтоном

$$V_o = V_{\Pi}(1 - C_o). \quad (20)$$

17) Объемное водоизмещение ППБУ в рабочем положении

$$V_p = V(2,1 - 1,1 C_o). \quad (21)$$

18) Суммарная площадь сечения колонн (площадь ватерлинии ППБУ в рабочем положении) при осадке в рабочем положении

$$S_K = \frac{V(0,91 - 1,1 C_o)}{d_P - H_{\Pi}} \quad (22)$$

19) Ордината центра масс ППБУ в рабочем положении

$$Z_{GP} = \frac{H_{\Pi}}{2(2,1 - 1,1 C_o)} [u_D + 0,55(1 - C_o)] \quad (23)$$

20) Ордината центра величины ППБУ в рабочем положении

$$Z_{CP} = \frac{H_{\Pi}}{2(2,1 - 1,1 C_o)} \left[1,1 + \frac{S_K H_{\Pi}}{V} \left(\frac{d_P^2}{H_{\Pi}^2} - 1 \right) \right]. \quad (24)$$

21) Диаметр круглых колонн

$$D_K = 1,13 \sqrt{\frac{S_K}{n}}, \quad (25)$$

где n – число колонн.

22) Ширина колонн прямоугольного сечения

$$B_K = \frac{S_K}{n B_{\Pi}}. \quad (26)$$

23) Длина участков понтона, занятых колоннами
– круглого сечения

$$L_{KK} = n D_K; \quad (27)$$

– прямоугольного сечения

$$L_{KP} = n B_K. \quad (28)$$

24) Длина цилиндрической части понтона без учета колонн:
– с закругленными оконечностями

$$L_{\Pi 1} = L_{\Pi} - L_{\text{KK}} - 0,115B_{\Pi}. \quad (29)$$

– с заостренными оконечностями

$$L_{\Pi 1} = L_{\Pi} - L_{\text{KK}} - 0,5B_{\Pi} \cdot \text{ctg}\alpha \cdot 2; \quad (30)$$

25) Момент инерции относительно оси X площади сечения колонн по ВЛ (ППБУ в рабочем положении):

– круглого сечения:

$$I_{\text{KK}} = n \cdot 0,05 D_{\text{K}}^4 (1 + 4A^2 \cdot B_{\Pi}^2 / D_{\text{K}}^2); \quad (31)$$

– прямоугольного сечения:

$$I_{\text{KK}} = (n \cdot B_{\text{K}} \cdot B_{\Pi}^3 / 12) (1 + 3A^2), \quad (32)$$

где $A = B_1 / B_{\Pi}$, B_1 – расстояние между диаметрными плоскостями понтонов.

26) Момент инерции относительно оси X площади сечения понтонов по ВЛ (ППБУ в походном положении):

– с заостренными оконечностями

$$I_{\text{XII}} = \frac{L_{\Pi} B_{\Pi}^3}{2} \left[0,33 \left(1 - 0,411 \frac{B_{\Pi}}{L_{\Pi}} \right) + \delta A^2 \right] \quad (33)$$

– со скругленными оконечностями

$$I_{\text{XII}} = \frac{L_{\Pi} B_{\Pi}^3}{2} \left[0,33 \left(1 - 0,411 \frac{B_{\Pi}}{L_{\Pi}} \right) + \delta A^2 \right]. \quad (34)$$

27) Поперечный метацентрический радиус ППБУ:

– в походном положении

$$r_{\Pi} = \frac{I_{\text{XII}}}{V}; \quad (35)$$

– в рабочем положении

$$r_{\text{p}} = \frac{I_{\text{XK}}}{V_{\text{p}}}. \quad (36)$$

28) Поперечная метацентрическая высота ППБУ:

– в походном положении

$$h_{\Pi} = z_{\text{сн}}^y + r_{\Pi} - z_{\text{гп}}; \quad (37)$$

– в рабочем положении

$$h_{\text{p}} = z_{\text{ср}}^y + r_{\text{p}} - z_{\text{гп}}; \quad (38)$$

1.3. Оценка вертикальной качки ППБУ при бурении на волнении

При качке ППБУ в процессе бурения скважин определяющей является вертикальная качка, поскольку вертикальные перемещения ограничивают работу бурильной колонны. В связи с ограниченными амплитудами качки ППБУ в рабочем режиме можно использовать основные положения линейной теории качки и разделить возмущающие силы и моменты, рассматривая две составляющие: главную часть и инерционную часть [5].

Уравнение вертикальной качки можно записать в виде

$$\ddot{\zeta} + 2\nu\dot{\zeta} + n^2\zeta = \kappa_{\zeta}^{rn}n^2r_w\cos\sigma t - \kappa_{\zeta}^{in}q\sigma^2r_w\cos\sigma t,$$

где $\zeta = \zeta_0\cos(\sigma t - \varepsilon)$ – решение уравнения.

Вертикальные перемещения ППБУ

$$\zeta_0 = r_w \frac{\kappa_{\zeta}^{rn} - qc^2\kappa_{\zeta}^{in}}{\sqrt{(1-c^2)^2 + (2\nu)^2 c^2}}; \quad (39)$$

$$\sigma = \frac{2\pi}{\lambda};$$

$$c = \frac{\sigma}{n};$$

где λ – длина волны, м; r_w – амплитуда волны, м; n – количество колонн;

$2\nu = \frac{2\nu}{m + \mu} = 0,06$ – коэффициент сопротивления вертикальной качки.

$$q = \frac{\mu}{m + \mu},$$

где m – масса установки в полупогружном состоянии.

Присоединенную массу воды при вертикальной качке μ сооружения целесообразно представить в виде

$$\mu = \mu_{\pi} + \mu_{\text{пк}},$$

где μ_{π} – присоединенная масса для участков понтона без колонн;

$\mu_{\text{пк}}$ – присоединенная масса для участков понтона с колоннами.

Для цилиндрических участков понтона с прямоугольным поперечным сечением (рис. 2)

$$\mu_{\pi} = \mu_{\pi}' L_{\pi}',$$

где μ_{π}' определяется по номограммам для расчета качки полупогружных платформ [5] в зависимости от параметров $\sigma^2 B_{\pi}/2g$; $T_0/2Z_c$; B_{π}/T_0 ; B_{π} , где B_{π} – ширина понтона; $T_0 = H_{\pi}$ – высота понтона; $Z_c = d_{\pi} - 0,5H_{\pi}$ – аппликата центра величины установки.

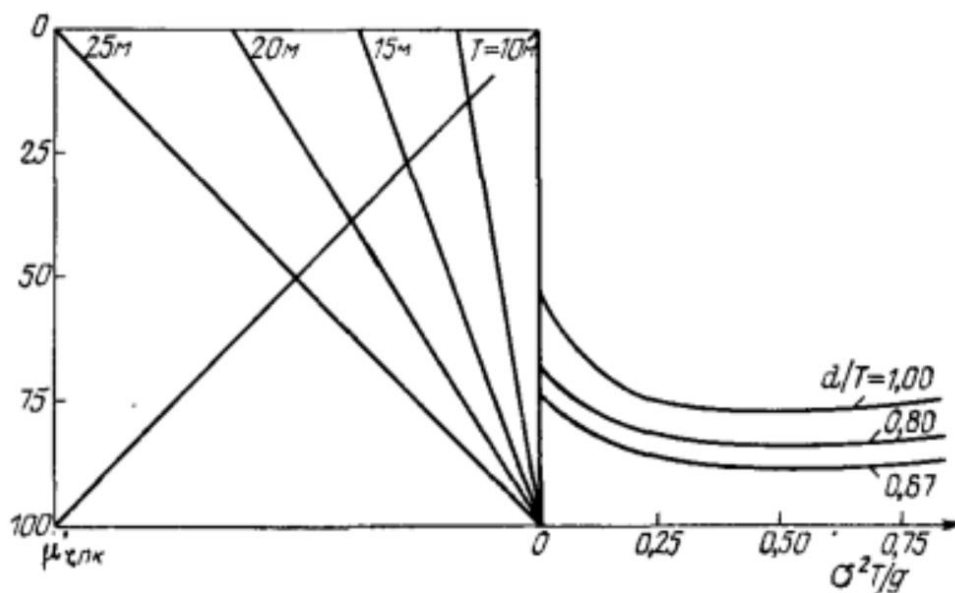


Рис. 3. Номограмма для определения присоединенной массы при вертикальной качке плоского составного контура

Редукционный коэффициент к инерционной части возмущающей силы:

$$\chi_{\zeta}^{\text{ин}} = e^{-kz_c} \cos kb, \quad (41)$$

где $k = \sigma^2/g$ — волновое число; $b = B_1/2$ — половина расстояния B_1 между диаметрными плоскостями понтонов.

1.4. Результаты расчета

H — высота борта понтона, м;

L — длина понтона, м;

δ — коэффициент общей полноты понтона;

H_k — высота колонны (от палубы понтона), м;

S — площадь колонны, м²;

Z_c — ордината центра величины ППБУ в рабочем положении, м;

$Z_{\text{гр}}$ — ордината центра масс ППБУ в рабочем положении, м;

h_p — метацентрическая высота в рабочем положении для $n = 4, 6, 8$, м;

ζ — вертикальная качка, м.

Полученные зависимости достаточно несложно использовать при составлении программ для расширения количества исследуемых объектов и выбора оптимального варианта.

1.5. Содержание отчета о практическом задании

Отчет должен содержать расчет основных характеристик ППБУ, анализ результатов и схему понтонов на формате А4.

1.6. Контрольные вопросы

1. Каковы исходные данные и ограничения при разработке методики расчета?
2. Как определяется водоизмещение ППБУ?
3. Что является критерием удовлетворительных характеристик ППБУ?

Практическая работа № 2.

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ НИЖНЕГО ПОНТОНА И СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ КОЛОНН ПОЛУПОГРУЖНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: обосновать и выбрать систему набора нижних понтонов; разработать конструкцию днищевых, бортовых и палубных перекрытий, поперечных и продольных переборок, рассчитать размеры обшивки и связей в соответствии с рекомендациями Правил Регистра РФ [6, 7].

2.1. Теоретический раздел

Краткое описание архитектурно-конструктивного типа ППБУ.

ППБУ представляет собой пространственное плавучее сооружение, включающие нижние понтоны и верхний корпус, соединенные системой вертикальных стабилизирующих колонн, а также горизонтальных и наклонных раскосов. Наиболее распространенными в настоящее время являются ППБУ с двумя параллельными нижними понтонами. Понтоны имеют прямоугольное со скругленными углами сечение, обеспечивающее лучшую технологию изготовления. Оконечности приближаются к судовым и имеют остроконечную или скругленную форму. Днище, палуба и борта, а также переборки понтонов и имеют одинаковую систему набора и одинаковые размеры обшивки и балок. Количество поперечных переборок зависит от количества и расположения стабилизирующих колонн, которое позволяет обеспечить надежную перевязку колонн и понтонов. Число колонн составляет от 2 до 4 на каждом понтоне.

Колонны имеют цилиндрическую форму, однако в последнее время появились проекты с колоннами прямоугольного или квадратного сечения при работе ППБУ в жестких условиях.

Основными элементами, обеспечивающими перевязку цилиндрических колонн с понтонами, являются переборки и диафрагмы, которые располагаются в плоскости продольных и поперечных переборок нижних понтонов.

Внутренне пространство колонн разбивается горизонтальными платформами и вертикальными переборками на водонепроницаемые отсеки.

Раскосы выполняются в виде цилиндрических труб диаметром до 2,5 м. Раскосы соединяют колонны в горизонтальной плоскости непосредственно над палубой понтонов, в вертикальной поперечной плоскости подкрепляют верхний корпус в ДП. Наиболее ответственным является узел соединения раскосов со стабилизирующей колонной. В раскосах в районе соединения устанавливаются внутренние подкрепления, которые входят внутрь колонн и соединяются с ее прочными конструкциями: платформами, диафрагмами, кольцевыми рамами.

В настоящей работе рассматривается ППБУ с 4 стабилизирующими

колоннами (по две на нижних понтонах) прямоугольного сечения. Толщина обшивки и размеры набора бортов, днища, палубы, поперечных и продольной переборок определяются требованиями Правил Регистра для рабочего режима эксплуатации. Для расчета могут быть использованы также методические указания, разработанные для определения размеров элементов конструкций корпуса по дисциплине «Конструкция корпуса судов» [8].

2.2. Индивидуальное задание

Обосновать и выбрать систему набора нижних понтонов, разработать конструкцию днищевых, бортовых и палубных перекрытий, поперечных и продольных переборок, рассчитать размеры обшивки и связей в соответствии с рекомендациями Правил Регистра РФ.

В качестве объекта исследования принять ППБУ с четырьмя стабилизирующими колоннами, разработанную для жестких условий эксплуатации, размеры которой, включая нижние понтоны, вычислены в практической работе 1 (рис. 4).

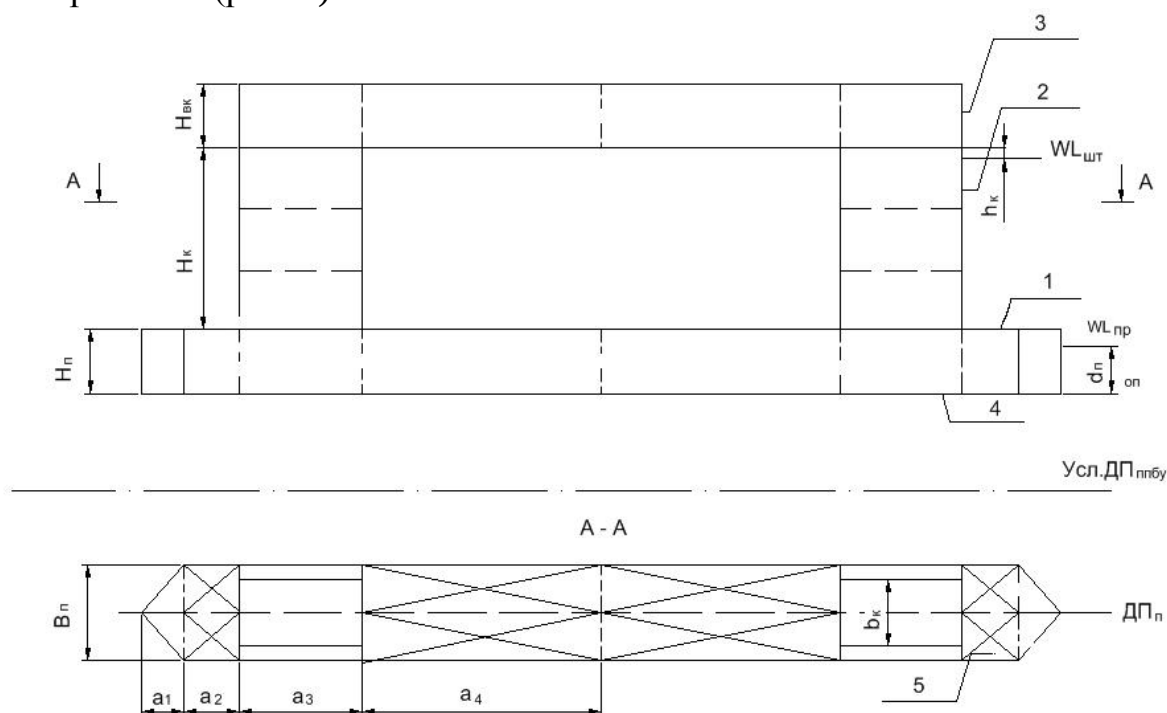


Рис. 4. Схема ППБУ с четырьмя стабилизирующими колоннами

1) Исходные данные.

L_n , м (длина понтона) – см. результат практической работы 1 (ПР1);

B_n , м (ширина понтона) – см. ПР1;

H_n , м (высота понтона) – см. ПР1;

$a_1 = 0,5B_n$ м;

a_2, a_4 , м – см. ПР1;

$a_3 = 16,8$ м, (размер поперечного сечения колонны вдоль понтона с двумя колоннами);

$b_k = 12$ м (ширина колонны);
 H_k , м (высота колоны) – см. ПР1;
 $n_k = 4$ (число колонн);
 $n_n = 2$ (число понтонов);
 d_n , м (осадка в походном положении) – см. ПР1;
 d_p , м (осадка в рабочем положении) – см. ПР1;
 $h_{кл} = 1,0$ м (клиренс).

2) Выбор марки материала корпуса.

Для изготовления элементов конструкции корпуса, в соответствии с Правилами Регистра, предусматривается применение судостроительных сталей:

- нормальной прочности А, В, D, Е (минимальный предел текучести ($R_{ен} = 235$ МПа);
- повышенной прочности выпускаются следующих категорий: А32, D32, Е32 ($R_{ен} = 315$ МПа); А36, D36, Е36 ($R_{ен} = 355$ МПа); А40, D40, Е40 ($R_{ен} = 390$ МПа).

3) Расчет минимальных толщин связей корпуса.

Толщина наружной обшивки во всех случаях

$$S_{min}^{общ} = (5,5 + 0,04 \cdot L_n) \cdot \sqrt{\eta}, \text{ мм},$$

где η – уточнение предела текучести (для стали D32 $\eta = 0,78$).

Толщина сплошных флоров

$$S_{min}^{флора} = 0,035 \cdot L_n + 6, \text{ мм}.$$

Толщина переборок

$$S_{min}^{пер.} = 0,015 \cdot L_n + 5, \text{ мм}.$$

Толщина балластных танков

$$S_{min}^{бал.т.} = 0,025 \cdot L_n + 6,5, \text{ мм}.$$

4) Выбор шпации по Правилам Регистра.

Нормальная шпация

$$a_0 = 0,002 \cdot L_n + 0,48, \text{ м}$$

Должна быть выбрана округленная в большую сторону стандартная шпация в соответствии с отраслевым стандартом «Шпации морских стальных судов», предусматривающим для средней части судна следующие размеры шпации, мм: 400, 500, 550, 600, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000.

Выбрать расстояние между рамным набором и продольными ребрами жесткости при продольной системе набора.

5) Определение расчетных нагрузок на днище и палубу понтона:

$$P = \rho g h,$$

где h – высота столба воды, м.

6) Расчет толщины обшивки днища и палубы.

Толщина обшивки

$$S = m \cdot a_0 \sqrt{\frac{K \cdot p}{K_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \quad (1)$$

где $m = 18$, a_0 – шпация, $K = 1$,

$\sigma_n = \frac{\sigma_T}{\eta}$, где $\eta = 1,0; 0,78$ – для стали категории D и D32 соответственно,

$\Delta S = u \cdot \frac{T}{2}$ – коррозионный износ, мм, где u – среднегодовое уменьшение толщины связи, мм/год, для обшивки понтона $u = 0,14$ мм/год,

$T = 24$ – срок службы, год.

7) Расчет элементов набора понтона.

Вычертить в масштабе конструктивный мидель-шпангоут и продольный конструктивный разрез расчетного отсека понтона.

– Расчет продольного набора понтона.

Момент сопротивления поперечного сечения балок основного продольного набора должен быть не менее расчетного

$$W = W' \cdot \omega. \quad (2)$$

Момент сопротивления рассматриваемой балки к середине срока службы судна

$$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}, \quad (3)$$

где $Q = P \cdot a_1 \cdot l$ – поперечная нагрузка на рассматриваемую балку, кН;

P – расчетное давление на днище, кПа;

l – длина пролета балки (расстояние между рамными связями), м;

a_1 – расстояние между продольными балками, м;

$m = 12$ – коэффициент изгибающего момента;

$k_\sigma = 0,65$ – коэффициент допускаемых напряжений;

σ_n – расчетный предел текучести, МПа.

Поправка на износ и коррозию для балок катаного профиля

$$\omega = 1 + \alpha_K \cdot \Delta S,$$

где ΔS – коррозионный износ профиля;

$$\alpha_K = \frac{1}{15} \cdot \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right).$$

По данной расчетной схеме выполнить расчет прочности продольных балок днища и палубы.

– Расчет рамного набора понтона.

Момент сопротивления флора

$$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}, \quad (4)$$

где $l = \frac{B}{2}$ – длина флора, м; $Q = P \cdot a_2 \cdot \frac{B}{2}$ – поперечная нагрузка на флор,

кН; $a_2 = a_0$ – расстояние между флорами, м; P – расчетное давление на днище, кПа; $m = 13$ – коэффициент изгибающего момента; $k_\sigma = 0,65$ –

коэффициент допускаемых напряжений; σ_n – расчетный предел текучести, МПа.

Момент сопротивления поперечного сечения флора с учетом коррозии

$$W = W' \cdot \omega$$

где $\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}}$.

Изгибающий момент во флоре

$$M = \frac{Q \cdot l}{m}. \quad (5)$$

Минимальный момент сопротивления флора

$$W = \frac{M}{k_\sigma \cdot \sigma_n}. \quad (6)$$

Высота флора

$$H_{\text{фл}} = 0,055 B_1 ,$$

где $B_1 = 0,6 B_0$ – ширина понтона в данном сечении.

Толщина пояска флора $S_{\text{п}}$.

Ширина пояска флора $b_{\text{п}} = \frac{1}{6} l$.

Толщина стенки флора $S_{\text{ст}}$.

Присоединенный поясok обшивки днища $b_{\text{пр}} = \frac{1}{6} \frac{B}{2}$.

По полученным результатам расчета подобрать профиль флора.

По данной схеме выполнить расчет и подобрать размеры рамного бимса палубного перекрытия.

– **Расчет конструкции понтона в районе расчетного отсека.**

Учитывая полученные результаты в пп. 6, 7, принять:

– толщину обшивки бортов, поперечных и продольных переборок равной толщине обшивки днища;

– размеры и профиль основного и рамного набора бортов, поперечных и продольной переборок аналогичными набору днищевое перекрытия.

Вычертить схему конструкции поперечного и продольного сечений корпуса понтона в средней части на формате А4. Пример на рис. 5.

2.3. Содержание отчета о практическом задании

Отчет должен содержать описание конструкции понтонов, стабилизирующих колонн и ППБУ в целом. На чертежах формата А4 выполнить в масштабе схему корпуса ППБУ, схему набора.

2.4. Контрольные вопросы

1. Опишите устройство ППБУ.
2. Опишите конструкцию понтонов, колонн и верхнего корпуса ППБУ.
3. Опишите назначение каждой части ППБУ.
4. Опишите назначение и схему расположения раскосов.
5. Опишите схему набора понтонов и колонн.
6. Опишите конструкцию узлов соединения колонн с понтонами.

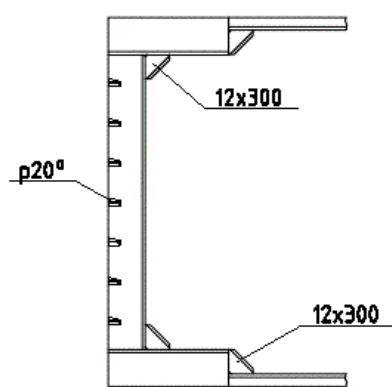
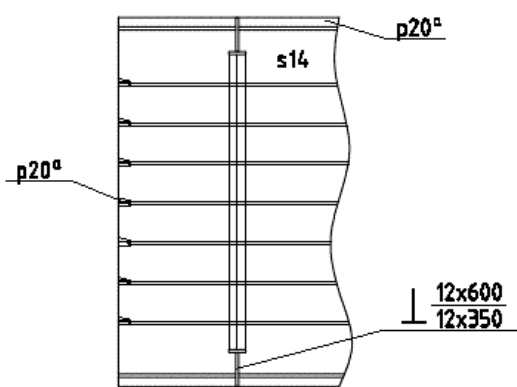
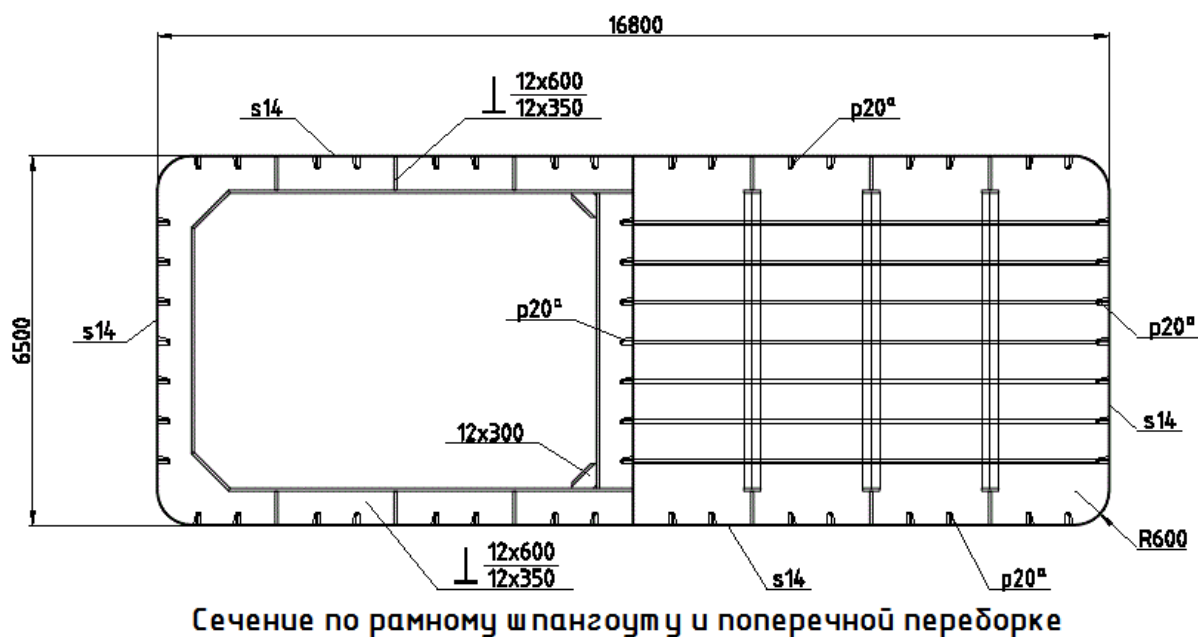


Рис. 5. Схема корпуса ППБУ, схему набора и конструкцию узла соединения раскоса с цилиндрической колонной

Практическая работа № 3.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЙКИ КОРПУСА ПОЛУПОГРУЖНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: разработка технологии постройки корпуса ППБУ в условиях судостроительных заводов «Залив» и «Выборгского судостроительного завода» (ВСЗ).

В качестве объекта постройки принять разработанную в ПР 2 ППБУ с 4–6 стабилизирующими колоннами.

3.1. Теоретический раздел

Методы постройки ППБУ базируются на применяемых в судостроении методах: секционном, блочном и блочно-секционном. Конкретная их реализация во многом определяется следующими факторами: конструктивными особенностями и размерами ППБУ, характеристиками конструкционных материалов, производственными условиями верфи и типом построечного места и его оборудования, организацией производства и степенью кооперации.

При этом следует отметить общую тенденцию перехода к формированию ППБУ из крупных сборочных единиц (секций, блоков, модулей).

Конструктивный тип ППБУ не оказывает принципиального влияния на выбор метода их постройки. Большее влияние оказывают производственные условия верфи, в первую очередь тип построечного места, его размеры, грузоподъемность подъемных кранов, наличие развитой достроечной набережной акватории необходимой глубины.

Существуют различные методы постройки:

а) Постройка ППБУ в сухом доке завода «Залив».

В доке используются киль-блоки, на которых из блоков собираются понтоны, на них устанавливаются стабилизирующие колонны, между которыми монтируют подпалубные балки, соединительные трубы и раскосы. Далее, после вывода понтонов из дока производится формирование всей установки и монтаж оборудования у достроечной набережной.

б) Постройка ППБУ типа «Шельф» на плаву в условиях ВСЗ.

При этом реализовывалась следующая схема. Понтоны установки собирали в эллинге и с помощью судовых тележек их перемещали на открытую горизонтальную площадку. Затем производится частичный монтаж стабилизирующих колонн на понтоны, которые через наливную док-камеру спускали на воду и стыковали на плаву у достроечной набережной с установкой колонн раскосов, подпалубных балок и верхнего строения.

В качестве грузоподъемных средств использовались плавучие краны грузоподъемностью от 300 до 620 т. Участок гибки деталей, оснащенный прессом 5000 тонн.

3.2. Принципиальная технология постройки ППБУ

3.2.1. Технология постройки понтона

Важнейшим фактором, определяющим разбивку корпуса понтонов и колонн на конструктивные блоки являются их размеры. При разбивке учитываются габариты листового и профильного проката, конструктивные особенности корпусов, масса секций и блоков, особенности их соединения, удобство выполнения сварочных работ и технические возможности производства.

При выполнении задания можно воспользоваться данными нижеприведенного прототипа ППБУ с четырьмя колоннами прямоугольного сечения и близкими размерами.

Корпус понтонов и колонн разбивается на конструктивные блоки состоящих из модуль-панелей и модуль-секций (рис. 6).

Корпус колонн разбивается на конструктивные модуль-блоки двух типов размеров из трех модуль-блоков:

I – габариты блоков 1, 2: $l \cdot b \cdot h = 13,8 \cdot 13,8 \cdot 6,0$ м;

II – габариты блоков 3: $l \cdot b \cdot h = 13,8 \cdot 13,8 \cdot 6,0$ м.

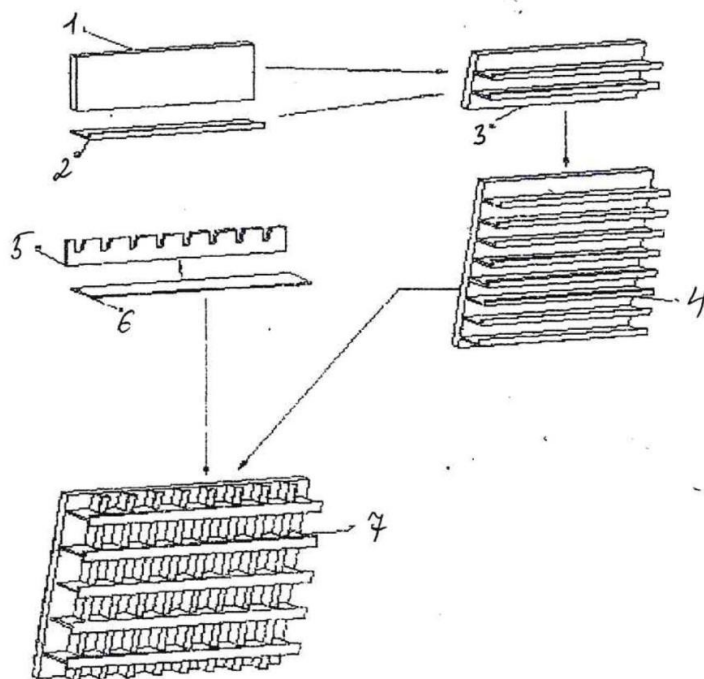


Рис. 6. Схема комплектования модуль-панелей и модуль-секций:

1 – лист; 2 – балка набора; 3 – модуль-панель; 4 – укрупненная модуль-панель;
5 – стенка перекрестной связи; 6 – поясок перекрестной связи, 7 – модуль-секция

Корпус понтона разбивается на конструктивные модули-блоки трех типов размеров из девяти модуль-блоков:

I – габариты блоков 2, 3, 4, 2^а, 3^а, 4^а: $l \cdot b \cdot h = 12,0 \cdot 16,0 \cdot 5,1$ м;

II – габариты блоков 5: $l \cdot b \cdot h = 15,8 \cdot 16,0 \cdot 5,1$ м.

III – габариты блоков 1, 1^а: $l \cdot b \cdot h = 8,6 \cdot 16,0 \cdot 5,1$ м.

Размеры конструктивных модулей-блоков выбраны с учетом размеров листового проката и изготавливаются по единому чертежу.

Конструктивный модуль-блок состоит из секций-модулей:

- верхняя палуба;
- бортовая;
- днищевая;
- поперечная переборка;
- продольная переборка.

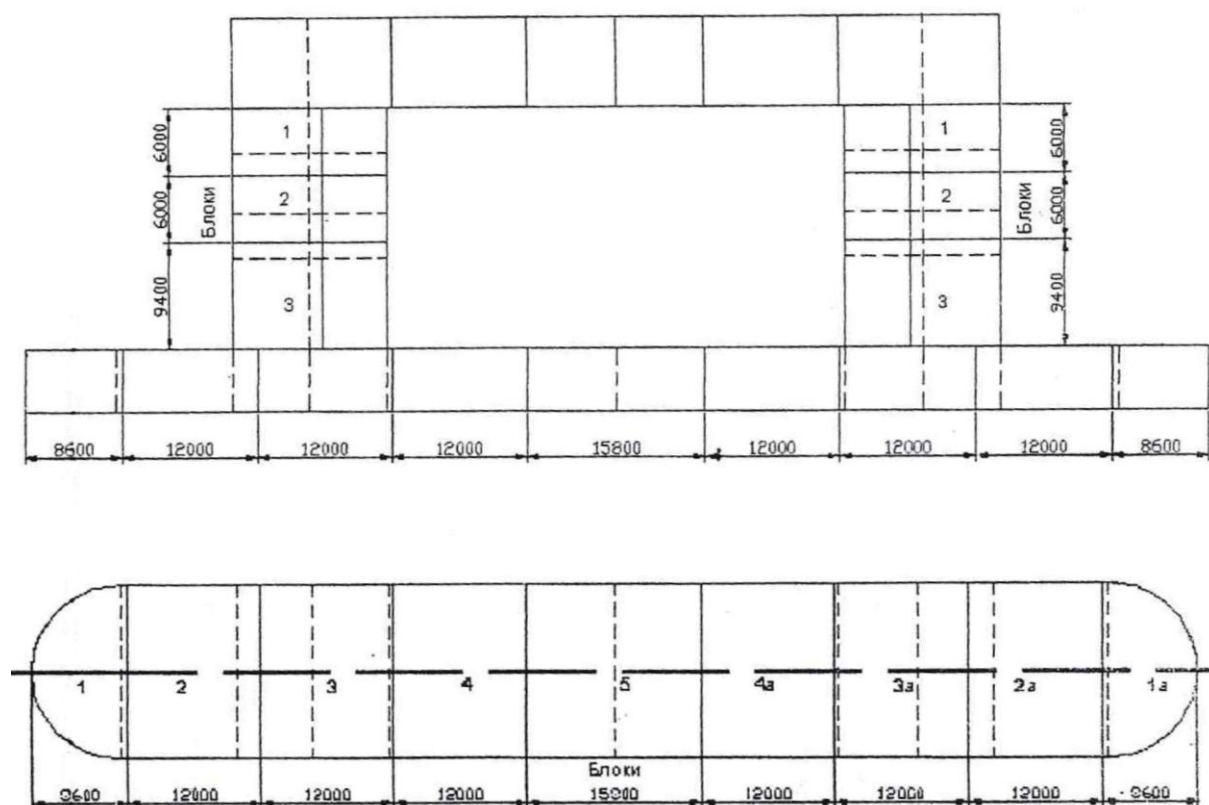


Рис. 7. Разбивка понтонов и колонн на конструктивные модули-блоки.

В свою очередь секция днища и верхней палубы, борта и продольной переборки максимально унифицированы по геометрическим параметрам. А модули-блоки отличаются между собой количеством поперечных переборок.

Наименование секции	Секции, изготавливаемые по единому чертежу										Количество			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ЛБ	ПБ	ЦПР	Всего
Верхняя палуба	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□			9	9
Бортовая	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	9	9		18
Днищевая	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□			9	9
Поперечная переборка	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	9	9		18
Продольная переборка	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□			9	9
* - образ секции в понтоне														63

Рис. 8. Количество модуль-секций необходимое для изготовления одного понтона

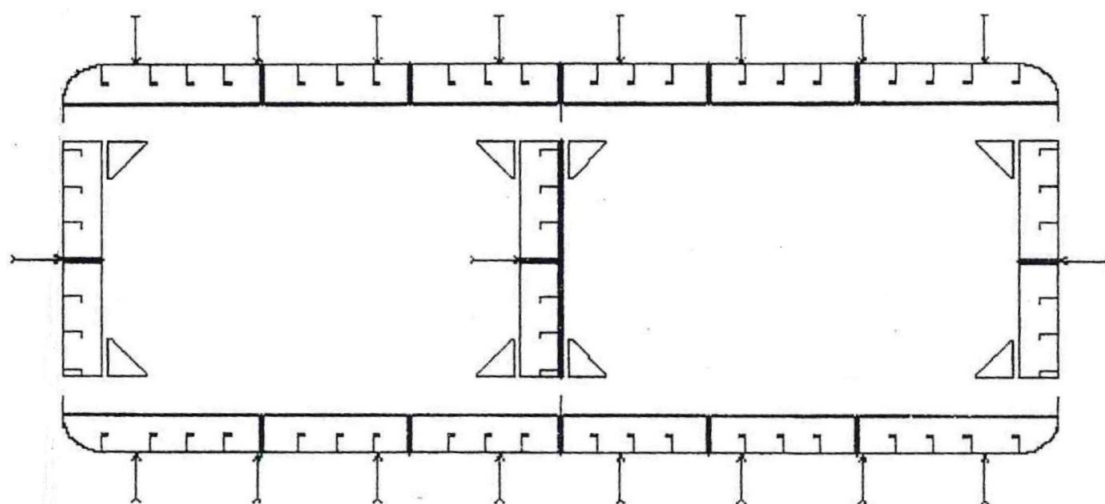


Рис. 9. Схема разбивки модуль-блока на секции

Предлагаемая разбивка на конструктивные модули-блоки имеет значительное преимущество за счет уменьшения количества типов размеров модулей-блоков, трудоемкости постройки ППБУ в виду однотипности деталей, а также подготовительных работ при закладке следующих модулей-секций. Размеры модуль-блоков выбирались в зависимости от размеров листового проката $l = 12$ м с массой $Q_m = 188,6$ т, что позволяет использовать при монтаже подъемный кран грузоподъемностью 300 т.

Технологические процессы изготовления деталей корпуса в своем большинстве не имеют принципиальных отличий от применяемых в судовом корпусостроении. К особенностям относятся применение высокопрочных сталей для ряда узлов, наличие листовых деталей большой толщины, криволинейная форма поверхности значительной части деталей и др.

Корпусообрабатывающее производство, включающее все основные процессы изготовления деталей корпуса, является одним из наиболее механизированных видов судостроительного производства.

Технологические процессы изготовления секций корпуса не имеют принципиальных отличий от применяемых в сборочно-сварочных цехах судостроительных заводов. Плоские секции, составляющие значительную долю в корпусе, изготавливаются на механизированных поточных линиях.

Изготовление секции с криволинейными обводами производится на лекальных постелях, также используемых в сборочно-сварочных цехах.

Стабилизирующие колонны, представляющие собой сложные крупногабаритные конструкции (круглые диаметром 9,8 м и высотой 18,5 м), разделенные внутри на отсеки платформами целесообразно изготавливать целиком в виде объемных блоков, что сокращает сроки постройки. В практике отечественного судостроения при постройке ППБУ «Шельф» колонны по высоте разделялись на два блока, которые состоят из секций наружной обшивки с набором и секций внутренних конструкций (платформ).

Таким образом, в основу технологического процесса строительства понтонов и стабилизирующих колонн принято их формирование из круп-

ных насыщенных блоков и секций.

Для оценки массы понтонов и стабилизирующих колонн на начальных стадиях можно использовать следующий приближенный метод.

Основными элементами конструкций корпуса являются обшивка и набор, размеры которых при одной и той же нагрузке зависят от шпации. Размеры балок обычно определяются из расчетов на восприятие местных нагрузок – на напор воды в рабочем положении с учетом волнения. Такой подход позволяет получить и проанализировать зависимости массы понтонов и стабилизирующих колонн от шпации набора, используя в качестве исходных данных осадку судна, предел текучести материала, установленные запасы прочности и устойчивости.

Характеристикой массы конструкции может служить приведенная толщина обшивки, включающая продольный и поперечный набор, причем доля набора составляет 40–45 %. Учитывая значительную глубину погружения понтонов в рабочем положении (18–20 м), целесообразно принимать одинаковую толщину обшивки и набор днищевых, палубных и бортовых перекрытий, поперечных и продольных переборок. Поскольку структура этих конструкций идентична, то определенная для днищевого перекрытия приведенная толщина может характеризовать массу всего понтона.

Металлоемкость понтонов можно провести, исходя из расчетов на напор воды

$$p = 0,1(d_p + 0,6h_B),$$

где d_p – осадка в рабочем положении, м; h_B – высота расчетной волны, м.

Соотношение между толщиной и высотой стенки профиля выбрано из условия обеспечения ее устойчивости при заданном характере нагружения балки. Приведенная толщина, вычисленная для корпуса из углеродистой низколегированной стали D, D32, D40 при одинаковых запасах прочности, может быть представлена в виде

$$t_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{u_p}}{4} \left(\frac{17}{6} + \frac{a}{3} \sqrt{\frac{a}{h_d \cdot b}} + \frac{3B}{17} \sqrt{\frac{B}{h_a \cdot a}} \right) + \frac{u_p}{8} \left(\frac{17}{3} a + 2B \right) + \Delta t_k, \quad (1)$$

где $u_p = \frac{5p}{4\sigma_T}$; b – шпация продольного набора; a – шпация поперечного набора; σ_T – предел текучести материала; B – ширина перекрытия (секции); h_d , h_a – коэффициенты, характеризующие устойчивость стенки профиля продольного и поперечного набора (таблица 3); Δt_k – увеличение толщины обшивки, учитывающее ее коррозионный износ за весь период эксплуатации.

Т а б л и ц а 3

Категория (марка) стали	σ_T , МПа	h_d	h_a
D (ВСт3)	240	67,7	70,7
D32 (09Г2)	300	60,7	63,6
D40 (10ХСНД)	400	52,6	55,0

Формула (1) может быть использована для анализа металлоконструкций понтона. В случае, если определены расчетом толщина обшивки t , площадь сечения продольного набора $f_{пр}$ и поперечного набора $f_{поп}$, приведенная толщина корпуса может быть определена по формуле (ПР2)

$$t_{пр} = t + \frac{f_{пр}}{b} + \frac{f_{поп}}{a}, \quad (2)$$

где b , a – шпация продольного набора и расстояние между балками поперечного набора.

Расчетная масса нижнего понтона

$$M_p = \gamma \cdot \sum_i t_{пр i} \cdot S_i. \quad (3)$$

Полная масса нижнего понтона

$$M_{п} = K_{м} \cdot \gamma \cdot \sum_i t_{пр i} \cdot S_i, \quad (4)$$

где S_i – площадь i -го перекрытия;

$K_{м} = 1,2 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий неучтенные конструкции (кницы, дополнительные элементы).

3.2.2 Пример

Для нижнего понтона ППБУ с характеристиками:

$d_p = 18$ м, $h_B = 10$ м, $p = 0,24$ МПа, $b = 0,6$ м, $B = 9$ м,

$a = 2,4$ м, $\Delta t_k = 0,2$ см, $h_d = 67,7$, $h_a = 70,7$, $\sigma_T = 240$ МПа

приведенная толщина корпуса, определенная по формуле (3.1) $t_{пр} = 2,8$ см.

Учитывая, что напряжения изгиба в конструкциях составляют $0,8\sigma_T = [\sigma]$, критические напряжения доведены до предела текучести, а фактические напряжения будут ниже допускаемых, приведенная толщина будет иметь большее значение.

Полученные зависимости могут быть использованы и для конструирования стабилизирующих колонн при условии их разбивки по высоте на отдельные участки в зависимости от количества платформ.

Для сравнения при определении массы понтона и колонн можно использовать размеры обшивки и балок набора, полученные по Правилам Регистра (см. ПР2).

3.3. Индивидуальное задание

1) Выбрать и обосновать метод принципиальной технологии постройки понтонов и стабилизирующих колонн ППБУ по данным ПЗ1.

2) Определить тип и размеры блоков корпуса понтонов и стабилизирующих колонн. Вычертить схему разбивки понтонов и стабилизирующих колонн.

3) Описать методы изготовления:

- листовых и профильных деталей;
- плоских секций;

- криволинейных секций;
- блоков.

4) Описать метод сборки корпуса понтонов и стабилизирующих колонн из блоков.

Первый вариант. На заводе «Залив» для сборки корпуса судов используется сухой док размерами 60 х 350 м, оборудован краном грузоподъемностью 650 т, также на заводе имеются площадки для сборки блоков и транспортные средства для их подачи к доку.

Сборка корпуса понтонов осуществляется на построечных кильблоках. Здесь же производится монтаж стабилизирующих колонн и верхнего строения, связь понтонов, стабилизирующих колонн и верхнего строения горизонтальными и наклонными раскосами. Достройка ППБУ производится у достроечной набережной.

Второй вариант. На Выборгском судостроительном заводе может быть использована следующая схема постройки из блоков ППБУ.

Сборка корпуса понтонов из блоков производится в эллинге на судостроительных тележках. Из эллинга собранный понтон передвигается на площадку, на которой на него монтируется нижний блок стабилизирующих колонн и устанавливаются на палубу понтона верхние блоки колонн. Далее понтон с колоннами передвигается в передаточную док-камеру, из которой понтон передвигается в акваторию, а затем с помощью буксира доставляется к достроечной набережной. У стенки набережной с помощью спец. устройств производится выравнивание положения понтонов, соединение их с помощью раскосов, монтаж верхнего строения и технологического оборудования.

5) Описать методы защиты ППБУ от коррозии.

3.4. Содержание отчета о практическом задании

Отчет должен содержать ответы на вопросы, поставленные в индивидуальном задании, включая определение толщин корпуса, массы блоков и схему разбивки понтонов и стабилизирующих колонн.

3.5. Контрольные вопросы

1. Опишите устройство ППБУ.
2. Опишите конструкцию понтонов, колонн и верхнего корпуса ППБУ.
3. Опишите назначение каждой части ППБУ.
4. Опишите назначение и схему расположения раскосов.
5. Опишите схему набора понтонов и колонн.
6. Опишите конструкцию узлов соединения колонн с понтонами.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Технические средства для разведки и добычи углеводородов на шельфе.
2. Факторы, влияющие на выбор морского сооружения.
3. Основные виды нагрузок, действующих на морские сооружения.
4. СПБУ. Архитектурно-конструктивные типы.
5. СПБУ. Режимы эксплуатации.
6. Конструкция корпуса СПБУ. Прямоугольный понтон.
7. Конструкция корпуса СПБУ. Треугольный понтон.
8. СПБУ. Состав опорно-подъемного устройства. Механизмы подъема.
9. СПБУ. Гидравлические механизмы подъема.
10. СПБУ. Электро-механические механизмы подъема.
11. СПБУ. Конструкция цилиндрических опорных колонн.
12. СПБУ. Конструкция ферменных опорных колонн.
13. Внешние силы, действующие на СПБУ.
14. Критерии прочности конструкций СПБУ.
15. ППБУ. Архитектурно-конструктивный тип.
16. ППБУ. Особенности эксплуатации.
17. ППБУ. Конструкция корпуса.
18. ППБУ. Конструкция нижних понтонов, стабилизирующих колонн верхнего строения.
19. ППБУ. Действующие на корпус нагрузки.
20. ППБУ. Состояние технологического оборудования при подготовке к бурению.
21. Буровые суда. Режимы эксплуатации. Устройство, конструкция судна.
22. Способы стабилизации бурового судна.
23. МСП. Конструкция с ферменным опорным основанием
24. МСП. Установка и монтаж на точке.
25. Ледостойкие МСП.
26. Глубоководные МСП.
27. Трубоукладочные суда. Устройство, конструкция.
28. Конструкция подводного трубопровода. Виды укладки подводного трубопровода.
29. Технология постройки СПБУ на судостроительных предприятиях.
30. Технология постройки ППБУ в сухом доке и с монтажом понтонов на плаву.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Т а б л и ц а 4

Основная и дополнительная литература

№ п/п	Наименование изданий учебной литературы	Количество экземпляров
Основная литература		
1.	Конструкция стационарных и плавучих сооружений : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Судостроение и океанотехника" / А. В. Кузьмина [и др.]. — Севастополь : Издательство Севастопольского национального технического университета, 2013. - 211 с. : ил. ; 20 см. – Текст : электронный. — URL: http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/8583 . - Загл. с экрана.	Доступ без ограничения числа авторизованных пользователей, регистрация по IP-адресам СевГУ
2.	Серебрякова, О. А. Методы морских геологических исследований: Учебник / Серебрякова О.А. - Москва : Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 244 с. (Высшая школа: Магистратура) ISBN 978-5-98281-435-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/518251 (дата обращения: 03.07.2020). – Режим доступа: по подписке.	Доступ без ограничения числа авторизованных пользователей, регистрация по IP-адресам СевГУ
3.	Морские инженерные сооружения. Ч. I. Морские буровые установки: учеб. / под общ. ред. В. Ф. Соколова. – СПб.: Судостроение, 2003. – 535 с.	
Дополнительная литература		
1.	Кушнир, В. М. Нелинейная динамика океанотехнических систем: Монография / Кушнир В.М., Душко В.Р., Крамарь В.А. - Москва : Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 320 с. (Научная книга) ISBN 978-5-9558-0470-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/524521 (дата обращения: 03.07.2020). – Режим доступа: по подписке.	Доступ без ограничения числа авторизованных пользователей, регистрация по IP-адресам СевГУ
2.	Кушнир, В. М. Воздействие морской среды на системы освоения шельфа : [монография] / В. М. Кушнир, В. Р. Душко, С. В. Федоров. - Севастополь : Издательство Севастопольского национального технического университета, 2009. - 303 с. : ил., граф., табл. ; 20 см. - Библиография: с. 282-293 (167 назв.) . — ISBN 978-966-2960-51-8. — Текст : непосредственный	31
3.	Шостак, В. П. Эффективность техники освоения океана. Направления проектных исследований [Текст] / В. П. Шостак. - Киев : Наукова думка, 2002. - 320 с. : ил. - Библиография: с. 306-316. - ISBN 966-00-0314-7. — Текст : непосредственный	13
4.	Лобанов, В. А. Справочник по технике освоения шельфа / В. А. Лобанов; Ред. Д. В. Марченко. - Л. : Судостроение, 1983. - 288 с. : ил. — Текст : непосредственный	15
5.	Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Т. Доусон ; перевод с английского В. А. Сме-	6

№ п/п	Наименование изданий учебной литературы	Количество экземпляров
	лова. - Ленинград : Судостроение, 1986. - 288 с. : ил. - (Техника освоения океана). - Библиография: с. 282-283 (49 назв.). — Текст : непосредственный	
6.	Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Гидротехн. стр-во" / Г. В. Симаков [и др.]. - Л. : Судостроение, 1989. - 328 с. : ил. - Библиогр.: с. 316-319. - Предм. указ.: с. 320-321.— Текст : непосредственный	8

Т а б л и ц а 5

Описание информационных ресурсов необходимых для освоения дисциплины

№	Наименование электронно-библиотечной системы	Ссылка на информационный ресурс
Электронно-библиотечные системы (ЭБС)		
1	Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства «ЛАНЬ» – ресурс, включающий в себя как электронные версии книг ведущих издательств учебной и научной литературы (в том числе университетских издательств), так и электронные версии периодических изданий по различным областям знаний.	https://e.lanbook.com/
2	Электронно-библиотечная система Znanium.com предоставляет зарегистрированным пользователям круглосуточный доступ к электронным изданиям из любой точки мира посредством сети Интернет.	http://znanium.com/
3	ЭБС Юрайт – это сайт для поиска изданий и доступа к тексту издания в отсутствие традиционной печатной книги.	https://www.biblio-online.ru/
4	Репозиторий eSevSUIR является универсальным по содержанию и включает: научные публикации работников Севастопольского государственного университета; авторефераты диссертаций; отчеты о НИР; другие материалы научного, образовательного или методического значения по желанию их авторов.	http://lib.sevsu.ru/xmlui/
Электронные ресурсы свободного доступа		
1	Классификационное общество Российский морской регистр судоходства было создано 31 декабря 1913 года. С 1969 года РС является членом Международной Ассоциации Классификационных Обществ (МАКО).	http://rs-class.org/ru/
2	Электронная библиотека «Научное наследие России» разрабатывается в рамках одноименной программы Президиума РАН с целью обеспечения сохранности и предоставления публичного доступа к научным трудам известных российских и зарубежных ученых и исследователей, работавших на территории России. Так же некоторые из подсистем электронной библиотеки (системы хранения и представления электронных изданий конечным пользователям) создаются в рамках программы Президиума РАН «Информатизация». Общая координация и управление проектом осуществля-	http://www.e-heritage.ru

№	Наименование электронно-библиотечной системы	Ссылка на информационный ресурс
	ется Межведомственным суперкомпьютерным центром (МСЦ) РАН.	
3	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" предоставляет свободный доступ к каталогу образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования.	http://window.edu.ru/
4	DOAJ – это интерактивный онлайн-каталог, который индексирует и обеспечивает доступ к высококачественным, открытым доступом, рецензируемым журналам.	http://www.doaj.org/

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Т. Доусон. – Л.: Судостроение, 1986. – 286 с.

2. Морские инженерные сооружения. Ч. I. Морские буровые установки: учеб. / под общ. ред. В. Ф. Соколова. – СПб.: Судостроение, 2003. – 535 с.

3. Семенов-Тянь-Шанский В. В. Статика и динамика корабля: плавучесть, остойчивость и спуск на воду: учеб. – В. В. Семенов-Тянь-Шанский. – Л.: Судостроение, 1973. – 607 с.

4. Справочник по теории корабля. В 3-х т. / под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – Т. 1. – 764 с.

5. Многокорпусные суда / под ред. В. А. Дубровского. – Л.: Судостроение, 1978. – 304 с.

6. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. – 298 с.

7. Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2021. – 104 с.

8. Разработка конструкции корпуса транспортного судна: метод. указания к выполнению курсового проекта / сост. А.В. Кузьмина, М.Г. Балашов. – Севастополь: СевГУ, 2016. – 48 с.: ил.

Учебное издание

**Игнатович Владилен Сергеевич,
Родькина Анна Владимировна,
Кузьмина Анна Валентиновна**

**КОНСТРУКЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЙКИ
И РЕМОНТ
МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 58/2021. Объем 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»