

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

## Морские нефтегазовые сооружения

### Методические указания к выпускной квалификационной работе

*Составители В. А. Филатов, В. В. Ярошик*



© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный  
архитектурно-строительный университет», 2015

Волгоград  
ВолгГАСУ  
2015

УДК 622.24(076.5)  
ББК 33.131.13я73  
М805

**Морские** нефтегазовые сооружения [Электронный ресурс] : методические указания к выпускной квалификационной работе / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. В. А. Филатов, В. В. Ярошик. — Электронные текстовые и графические данные (314 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: РС 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Содержит основные исходные данные и состав выпускной квалификационной работы. Приведена методика определения нагрузок: волновых, ветровых, ледовых, от течений.

Дан пример выполнения одного из разделов квалификационной работы — расчет нагрузок, действующих при транспортировке платформы, представлены необходимые для расчетов формулы.

Для студентов-бакалавров, обучающихся по профилю «Морские нефтегазовые сооружения».

УДК 622.24(076.5)  
ББК 33.131.13я73

## Оглавление

1. Содержание выпускной квалификационной работы.....	4
2. Состав графической части.....	4
3. Состав пояснительной записки.....	4
4. Пример выполнения основных разделов.....	6
4.1. Исходные данные для ВКР.....	6
4.2. Критерии проектирования основных конструкций и механизмов.....	8
4.3. Расчетно-конструкторская часть.....	9
4.3.1. Расчет нагрузок от воздействия ветра.....	10
4.3.2. Расчет нагрузок от воздействия течений.....	22
4.3.3. Волновая нагрузка.....	22
4.3.4. Расчёт остойчивости платформы.....	24
5. Рекомендуемая литература.....	26

# **1. СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

По содержанию выпускная квалификационная работа (ВКР) в соответствии с ГОС 130601.65 представляет собой часть технического проекта на обустройство морских нефтегазовых месторождений.

ВКР представляется на защиту в виде графической части в объеме не менее 7-ти листов чертежей формата А1(594 х 841) и пояснительной записки объемом 70-80 страниц формата А4 машинописного текста. Оформление выпускной работы выполняется по [18].

## **2. СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ**

2.1. Генеральный план морского нефтегазового сооружения (морские стационарные платформы, самоподъемные буровые установки, полупогружные буровые установки, суда с буровым оборудованием, подводные трубопроводы, искусственные острова, причалы, накопители и хранилища жидких нефтепродуктов, хранилища природных газов, станции подготовки газов и т.п.).

2.2. Общий вид МНС

2.3. Схемы нагрузок и воздействия на МНС.

2.4. Схемы остойчивости и устойчивости.

2.5. Схемы расчетно-конструкторского раздела.

2.6. Схемы строительно-монтажных работ при создании морского нефтегазового сооружения, механизация и автоматизация строительства (монтаж на заводе, транспортировка, установка на проектную точку и т.п.).

2.7. Техника безопасности.

## **3. СОСТАВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

3.1. Задание. Содержит основные исходные данные и состав ВКР.

3.2. Введение. Включает состояние и задачи отрасли. Кратко формулируется цель ВКР. Дается конкретное назначение морского нефтегазового сооружения. Характеризуются используемые документы.

3.3 Аннотация. В аннотации на дипломный проект приводятся краткие

сведения о содержании и объеме работы, указывается количество иллюстраций, таблиц, приложений и использованных литературных источников.

Дается краткая характеристика дипломного проекта, показывается отличительные особенности и достоинства дипломного проекта.

3.4. Описание района расположения морского нефтегазового сооружения и его устройство.

3.5. Расчетно-конструкторская часть (40 % от объема проекта).

3.5.1. Определение нагрузок: волновых, ветровых, ледовых, от течений, монтажных, сейсмических и от судов.

3.5.2. Расчет МНС на устойчивость и остойчивость.

3.5.3. Расчет элементов конструкции МНС на прочность

3.5.4. Модернизация бурового и нефтепромыслового оборудования, морских нефтегазовых сооружений на основе анализа опыта их использования и результатов исследований

3.5.5. Расчет фундаментов МНС и систем, удерживающих на проектной точке.

3.6. Технология и механизация строительно-монтажных работ (40 % от объема выпускной работы).

Разрабатывается прогрессивная технология механизированных работ, подбирается необходимый комплект машин и оборудования по технико-экономическим показателям. Разрабатываются технологические карты по основным видам работ.

3.7. Экономика. Дается технико-экономическое обоснование принятых решений.

3.8. Безопасность жизнедеятельности в техносфере. Разрабатываются мероприятия и предложения по организации безопасной работы, средствам пожаротушения, путям эвакуации персонала и т.п.

3.9. Заключение. Приводятся результаты работы над ВКР, основные выводы.

3.10. Библиографический список. Содержит сведения об источниках, используемых при выполнении выпускной работы.

3.11. Приложения. В приложении указываются вспомогательные расчеты, компьютерные программы, таблицы, иллюстрации, рекомендации и др.

3.12. Оглавление. Оглавление включает в себя все разделы и подразделы пояснительной записки.

#### **4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ**

В методических указаниях приводится пример выполнения одного из разделов ВКР - расчета нагрузок, действующих при транспортировке платформы. Этот расчет вызывает большие затруднения у студентов.

##### **4.1. Исходные данные для ВКР**

Спроектировать плавучую полупогружную буровую установку (ППБУ), предназначенную для производства работ по бурению разведочных и эксплуатационных нефтяных и газовых скважин до 7500 м., при глубине воды 70-500 м., с подводным заканчиванием скважин, оснащенной высокотехнологичным общесудовым и буровым оборудованием.

Основные характеристики платформы: (рис. 4.1;4.2):

- Длина габаритная, м, 122,54.
- Длина расчетная, м, 118,56.
- Длина палубы, м, 84,5
- Ширина габаритная, м, 91,97.
- Ширина палубы, м, 72,7.
- Высота до верха буровой вышки, м, 128,0.
- Осадка при эксплуатации, м, 23,638.
- Водоизмещение, т, 60275,374.
- Дедвейт, т, 9282.
- Расчетный срок службы, лет, 19.

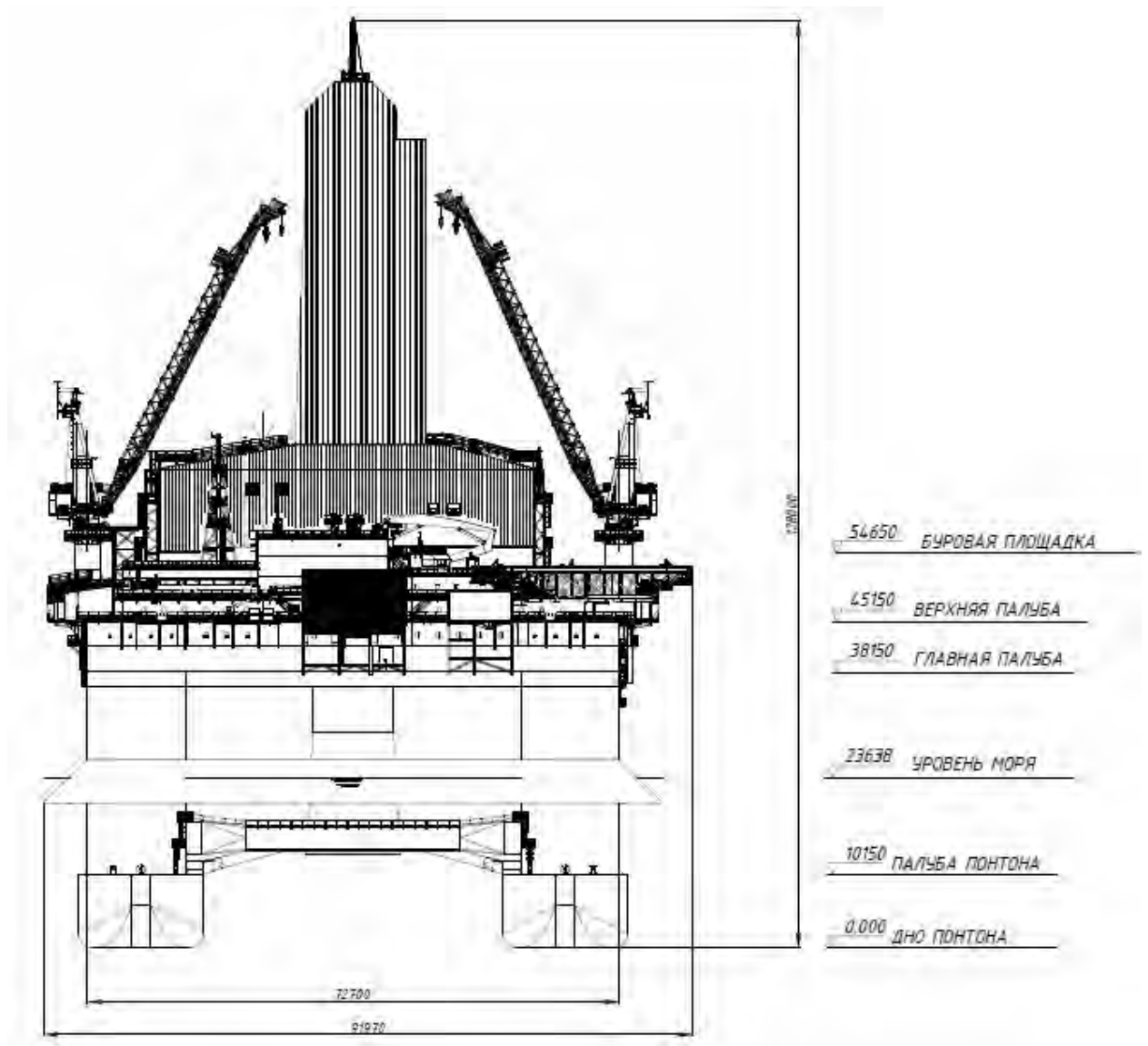


Рис. 4.1. Плавающая полупогружная буровая установка. Вид сбоку

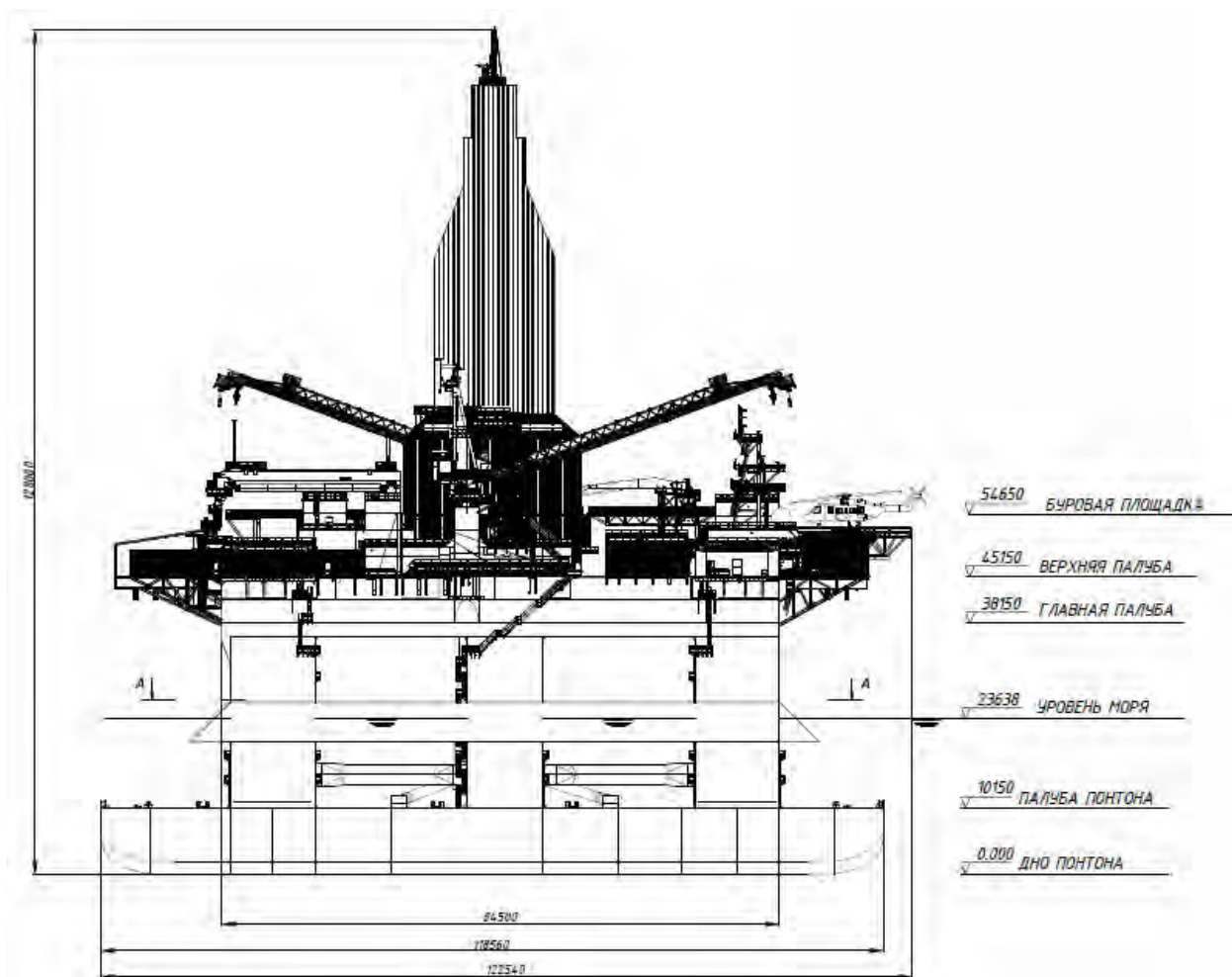


Рис. 4.2. Плавающая полупогружная буровая установка. Фронтальный вид

Район работ — Кириновское газоконденсатное месторождение расположено в Охотском море на северо-восточном шельфе о. Сахалин в 28 км от берега. Глубина моря в районе месторождения — 90 м.

#### 4.2. Критерии проектирования основных конструкций и механизмов

Ветер – стабильный ветер 1 мин.  $V=55$  м/с на высоте 10 м; максимальная высота волны – 32 м (по диаграмме разброса данных волнения моря за последние 100 лет для Северной Атлантики, Баренцева и Карского моря); срок службы – 19 лет с возможностью продления согласно правилам РМРС.

##### Габаритные размеры, осадка и водоизмещение

###### Верхний корпус:

- длина палубы – 84,48 м;



- ширина палубы – 72,72 м;
- высота до верхней палубы – 45,15 м;
- высота до пола буровой – 54,65 м;
- высота до верхней вышки – 128,00 м.

Понтон:

- длина – 118,56 м;
- ширина – 17,2 м;
- высота – 10,15 м.

Эксплуатация:

- осадка – 23,63875 м;
- водоизмещение – 60275,374 т
- переменная палубная нагрузка – 5 000,0 т.

Режим выживания:

- осадка – 21,63875 м;
- водоизмещение – 57975,374 т;
- переменная палубная нагрузка – 5 000,0 т.

Режим перегона:

- осадка – 9,98875 м;
- Водоизмещение – 40275,374 т;
- Дедвейт при расчетной осадке – 6 000,0 т.

### **4.3. Расчетно-конструкторская часть**

Расчет нагрузок, действующих при транспортировке платформы.

Так как осадка платформы при транспортировке 9,98875 м, то расчет действия волн и течений ведется аналогично расчету нагрузок на плавучий объект в соответствии с методикой, изложенной в п. 4 СНиП 2.06.04-82 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения».

Воздействия нагрузки от ветра рассчитаны по методике, изложенной в СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия».

### 4.3.1. Нагрузка от воздействия ветра (во фронт)

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки.

Согласно п. 6.3 [1] нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $w_{mi}$  на высоте  $z$  над поверхностью земли (моря) следует определять по формуле 4.1

$$w_{mi} = w_0 \cdot k_i \cdot c_i, \quad (4.1)$$

где  $w_0$  - нормативное значение ветрового давления, кПа;  $k_i$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;  $c_i$  - аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления  $w_0$  согласно п. 6.4 [1] следует принимать в зависимости от ветрового района по табл. 4.1. В данном случае платформа транспортируется в V районе [13, прил.5, карта 3], чему соответствует значение нормативного ветрового давления  $w_0=0,6$  кПа.

Таблица 4.1

Нормативное значение ветрового давления  $w_0$

Ветровой район	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
$w_0$ , кПа	0.17	0.23	0.3	0.38	0.48	0.6	0.73	0.85
кг/см <sup>3</sup>	17	23	30	38	48	60	60	85

В данном случае разбиваем надводную часть на характерные участки:

- 1) понтоны (118,56×0,16 м);
- 2) стабилизирующие колонны (12,8×9,989 м; 6 шт.);
- 3) ледовая защита (95,22×6 м);
- 4) стабилизирующие колонны (12,8×10,011 м; 6 шт.);
- 5) палуба платформы (84,5×18,5 м);
- 6) кран (2 шт):
  1. вертикальная колонна (21,532×3,585 м);

2. стрела (2,58×48,895 м);

7) ограждение буровой вышки:

1 секция(26,94×14,89 м);

2 секция(18,4×35,273 м);

3 секция(9,2×6,852 м);

4 секция(6,799×16,335 м).

Платформа транспортируется в местности типа А (открытые побережья морей, озер и водохранилищ). Коэффициент  $k$ , учитывающий изменение ветрового давления по высоте  $z$  согласно п. 6.5 [1] определяется по табл.4.2 в зависимости от типа местности.

Таблица 4.2

Значение коэффициента  $k$

Высота $z$ , м	Коэффициент $k$ для типов местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥ 480	2,75	2,75	2,75

Этим данным в таблице 4.2 соответствуют значения коэффициентов:

$$z_1 = 0,08\text{м}; k_1 = 0,75;$$

$$z_2 = 5,154\text{м}; k_2 = 0,757;$$

$$z_3 = 13,149\text{м}; k_3 = 1,078;$$

$$z_4 = 21,154\text{м}; k_4 = 1,264;$$

$$z_5 = 35,41\text{м}; k_5 = 1,442;$$

$$z_{6,1} = 42,719\text{м}; k_{6,1} = 1,527;$$

$$z_{6,2} = 74,108\text{м}; k_{6,2} = 1,805;$$

$$z_{7,1} = 52,105\text{м}; k_{7,1} = 1,621;$$

$$z_{7,2} = 77,186\text{м}; k_{7,2} = 1,828;$$

$$z_{7,3} = 98,249\text{м}; k_{7,3} = 1,986;$$

$$z_{7,4} = 109,842\text{м}; k_{7,4} = 2,04.$$

Значение аэродинамического коэффициента  $c$  принимаем по обязательному приложению 4 [13].

1) Для определения аэродинамического коэффициента на 1-ом участке используем схему 13 [1, Прил. 4] – призматические сооружения:

$$c_1 = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.2)$$

где  $k = 1$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение понтонов соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{118,56}{0,16} = 741, \quad (4.4)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_1 = 1 \cdot 2,1 = 2,1$$

2) Для определения аэродинамического коэффициента на 2-ом участке используем схему 3 [1, Прил. 4] – призматические сооружения:

$$c_2 = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.5)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{12,8}{9,989} = 1,281, \quad (4.6)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_2 = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

3) Для определения аэродинамического коэффициента на 3-ем участке используем схему 13 [13, Прил. 4] – призматические сооружения:

$$c_3 = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.7)$$

где  $k = 0,708$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_{\text{г}} = \lambda$ :

$$\lambda_{\text{г}} = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{95,22}{6} = 15,87, \quad (4.8)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_3 = 0,708 \cdot 2,1 = 1,48$$

4) Для определения аэродинамического коэффициента на 4-ом участке используем схему 13 [13, Прил. 4] – призматические сооружения:

$$c_4 = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.9)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_{\text{г}} = \lambda$ :

$$\lambda_{\text{г}} = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{12,8}{10,011} = 1,278, \quad (4.10)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_4 = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

5) Для определения аэродинамического коэффициента на 5-ом участке используем схему 13 [1, Прил. 4] – призматические сооружения:

$$c_5 = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.11)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{84,5}{18,5} = 4,567 \quad (4.12)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_5 = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

б) Для определения аэродинамического коэффициента на 6-ом участке для вертикальной колонны крана используем схему 14 [1, Прил. 4] – сооружения и их элементы с круговой цилиндрической поверхностью:

$$c_{6.1} = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.13)$$

где  $k = 0,61$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{21,532}{3,585} = 6,006, \quad (4.14)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 0,53$  - определяется по графику схемы 14 [1, Прил. 4], где значение  $\Delta$  принимается для стальных конструкций равное 0,001 м,  $Re$  - число Рейнольдса следует определять по формуле к схеме 12 а [1, Прил. 4]:

$$Re = 0,88 \cdot d \cdot \sqrt{w_0 k(z) \gamma_t} \cdot 10^5, \quad (4.15)$$

где  $d$  — диаметр сферы, м;  $w_0$  — определяется в соответствии с п. 6.4 [1], Па;  $k(z)$  — определяется в соответствии с п. 6.5 [1];  $z$  — расстояние, принимаем  $z = h$ , м;  $\gamma_t$  - Коэффициент надежности, определяется в соответствии с п. 6.11 [13];

$$Re = 0,88 \cdot 3,585 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 1,269 \cdot 1,4} \cdot 10^5 = 3,257 \cdot 10^5$$

Тогда:

$$c_{6.1} = 0,61 \cdot 0,53 = 0,323$$

Для определения аэродинамического коэффициента на 6-ом участке для стрелы крана используем схему 17 [1, Прил. 4] – решетчатые башни и пространственные фермы:

$$c_{6.2} = c_x(1 + \eta)k_1, \quad (4.16)$$

где  $\eta = 0,56$  — определяется так же, как для схемы 16 [1, Прил. 4];  $c_x$  — определяется так же, как для схемы 15 [13, Прил. 4]:

$$c_x = \frac{1}{A_k} \cdot \sum c_{xi} A_i, \quad (4.17)$$

где  $A_i$  — площадь проекции  $i$ -го элемента на плоскость конструкции;  $A_k$  — площадь, ограниченная контуром конструкции;  $c_{xi}$  — аэродинамический коэффициент  $i$ -го элемента конструкций; для трубчатых элементов  $c_{xi}$  следует определять по графику к схеме 14 [1, Прил. 4]:

$$c_{xi} = kc_{x\infty}, \quad (4.18)$$

где  $k = 0,739$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{48,895}{2,58} = 18,95, \quad (4.19)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 1,2$ - определяется по графику схемы 14 [1, Прил. 4], где значение  $\Delta$  принимается для стальных конструкций равное 0,001 м,  $Re$  - число Рейнольдса следует определять по формуле к схеме 12 а [1, Прил. 4]:

$$Re = 0,88 \cdot d \cdot \sqrt{w_0 k(z) \gamma_t} \cdot 10^5$$

где  $d$  — диаметр сферы, м;  $w_0$  — определяется в соответствии с п. 6.4 [1], Па;  $k(z)$  — определяется в соответствии с п. 6.5 [1];  $z$  — расстояние, принимаем  $z = h$ , м;  $\gamma_t$  — коэффициент надежности, определяется в соответствии с п. 6.11 [13];

$$Re = 0,88 \cdot 0,141 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 1,588 \cdot 1,4} \cdot 10^5 = 0,143 \cdot 10^5.$$

Тогда:

$$c_{xi} = 0,739 \cdot 1,2 = 0,886;$$

Тогда:

$$c_{6.3} = 0,269(1+0,56)l = 0,419$$

7) Для определения аэродинамического коэффициента на 7-ом участке используем схему 13 [1, Прил. 4] – призматические сооружения.

1 секция

$$c_{6.1} = kc_{x\infty}, \quad (4.20)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{26,956}{14,89} = 1,81, \quad (4.21)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_{6.1} = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

2 секция.

$$c_{6.2} = kc_{x\infty}, \quad (4.22)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_g = \lambda$ :

$$\lambda_g = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{35,273}{18,4} = 1,917, \quad (4.23)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_{6.2} = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

3 секция.

$$c_{6.3} = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.24)$$



где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_{\epsilon}=\lambda$ :

$$\lambda_{\epsilon} = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{9,2}{6,852} = 1,342, \quad (4.25)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда

$$c_{6,2} = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

4 секция.

$$c_{6,4} = k \cdot c_{x\infty}, \quad (4.26)$$

где  $k = 0,6$  определяется по таблице 1 схемы 13 [1, Прил. 4]. Положение соответствует случаю, при котором  $\lambda_{\epsilon}=\lambda$ :

$$\lambda_{\epsilon} = \lambda = \frac{l}{b} = \frac{16,335}{6,799} = 2,402, \quad (4.27)$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно максимальный и минимальный размеры сооружения или его элемента в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, м.

$c_{x\infty} = 2,1$  - определяется по табл. 3 схемы 13 приложения 4 [1] при  $\frac{l}{b} \leq 1,5$ .

Тогда:

$$c_{6,4} = 0,6 \cdot 2,1 = 1,26$$

По формуле (4.1) определяем нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки для каждого участка, кПа:

$$w_{m1} = 0,6 \cdot 0,75 \cdot 2,1 = 0,945;$$

$$w_{m2} = 0,6 \cdot 0,757 \cdot 1,26 = 0,572;$$

$$w_{m3} = 0,6 \cdot 1,078 \cdot 1,48 = 0,957;$$

$$w_{m4} = 0,6 \cdot 1,264 \cdot 1,26 = 0,955;$$

$$w_{m5} = 0,6 \cdot 1,442 \cdot 1,26 = 1,09;$$

$$w_{m6.1} = 0,6 \cdot 1,527 \cdot 0,323 = 0,295;$$

$$w_{m6.2} = 0,6 \cdot 1,805 \cdot 0,419 = 0,453;$$

$$w_{m7.1} = 0,6 \cdot 1,621 \cdot 1,26 = 1,225;$$

$$w_{m7.2} = 0,6 \cdot 1,828 \cdot 1,26 = 1,381;$$

$$w_{m7.3} = 0,6 \cdot 1,986 \cdot 1,26 = 1,501;$$

$$w_{m7.4} = 0,6 \cdot 2,04 \cdot 1,26 = 1,542.$$

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки определяется по формуле из п. 6.7 [1]:

$$w_{pi} = w_{mi} \cdot \xi_i \cdot v_i, \quad (4.28)$$

где  $w_{pi}$  – нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на  $i$ -ом участке, кПа;  $\xi_i$ -коэффициент пульсации давления ветра на уровне  $z$ , принимаемый на  $i$ -ом участке по таблице 7 [1];  $v_i$ - коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра по таблицам 9 и 10 на  $i$ -ом участке [1], при  $\rho = b$  и  $\chi = h$ , где  $b$  и  $h$  соответственно длина и высота сооружения, м [1, п. 6.9].

По таблице 4.3, с учетом высоты участков и типа местности  $A$ , коэффициенты пульсации давления ветра равны:

$$z_1 = 0,08\text{м}; \xi_1 = 0,85;$$

$$z_2 = 5,154\text{м}; \xi_2 = 0,847;$$

$$z_3 = 13,149\text{м}; \xi_3 = 0,737;$$

$$z_4 = 21,154\text{м}; \xi_4 = 0,685;$$

$$z_5 = 35,41\text{м}; \xi_5 = 0,636;$$

$$z_{6.1} = 42,719\text{м}; \xi_{6.1} = 0,614;$$

$$z_{6.2} = 74,108\text{м}; \xi_{6.2} = 0,565;$$

$$z_{7.1} = 52,105\text{м}; \xi_{7.1} = 0,595;$$

$$z_{7.2} = 77,186\text{м}; \xi_{7.2} = 0,562;$$

$$z_{7.3} = 98,249\text{м}; \xi_{7.3} = 0,541;$$

$$z_{7.4} = 109,842\text{м}; \xi_{7.4} = 0,53$$

## Коэффициент пульсации давления ветра

Высота z, м	Коэффициент пульсаций давления ветра $\zeta$ для типов местности		
	А	В	С
≤ 5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,50
40	0,62	0,80	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,70	1,06
100	0,54	0,67	1,00
150	0,51	0,62	0,90
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,80
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73
≥ 480	0,46	0,50	0,68

По таблице 4.4 с учетом ширины и высоты участков коэффициенты пространственной корреляции пульсаций давления ветра вычисляем с учетом экстраполяции:

$$v_1 = 0,581 (118,56 \times 0,16);$$

$$v_2 = 0,837 (12,8 \times 9,989);$$

$$v_3 = 0,61 (95,22 \times 6);$$

$$v_4 = 0,823 (12,8 \times 10,011);$$

$$v_5 = 0,607 (84,5 \times 18,5);$$

$$v_{6.1} = 0,847 (21,532 \times 3,585);$$

$$v_{6.2} = 0,799 (2,58 \times 48,895);$$

$$v_{7.1} = 0,77 (26,94 \times 14,89);$$

$$v_{7.2} = 0,743 (18,4 \times 35,273);$$

$$v_{7.3} = 0,851 (9,2 \times 6,852);$$

$$v_{7.4} = 0,839 (6,799 \times 16,335).$$

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра

$\rho$ , м	Коэффициент $\nu$ при $\chi$ , м, равных						
	5	10	20	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84	0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81	0,77	0,71	0,64	0,53
20	0,80	0,78	0,76	0,73	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70	0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59	0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,38

По формуле (4.28) определяем нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки, кПа:

$$w_{p1} = 0,945 \cdot 0,85 \cdot 0,581 = 0,466;$$

$$w_{p2} = 0,572 \cdot 0,847 \cdot 0,837 = 0,405;$$

$$w_{p3} = 0,957 \cdot 0,737 \cdot 0,61 = 0,430;$$

$$w_{p4} = 0,955 \cdot 0,685 \cdot 0,823 = 0,538;$$

$$w_{p5} = 1,09 \cdot 0,636 \cdot 0,607 = 0,420;$$

$$w_{p6.1} = 0,295 \cdot 0,614 \cdot 0,847 = 0,153;$$

$$w_{p6.2} = 0,453 \cdot 0,565 \cdot 0,799 = 0,204;$$

$$w_{p7.1} = 1,225 \cdot 0,595 \cdot 0,77 = 0,561;$$

$$w_{p7.2} = 1,381 \cdot 0,562 \cdot 0,743 = 0,576;$$

$$w_{p7.3} = 1,501 \cdot 0,541 \cdot 0,851 = 0,691;$$

$$w_{p7.4} = 1,542 \cdot 0,534 \cdot 0,839 = 0,69.$$

Суммарная ветровая нагрузка.

Суммарную ветровую нагрузку по участкам определяем как сумму средней и пульсационной составляющих, кПа:

$$W_1 = w_{m1} + w_{p1} = 0,945 + 0,466 = 1,411; \quad (4.29)$$

$$W_2 = w_{m2} + w_{p2} = 0,572 + 0,405 = 0,977;$$

$$W_3 = w_{m3} + w_{p3} = 0,957 + 0,430 = 1,387;$$

$$W_4 = w_{m4} + w_{p4} = 0,955 + 0,538 = 1,493;$$

$$W_5 = w_{m5} + w_{p5} = 1,09 + 0,42 = 1,51;$$

$$W_{6.1} = w_{m6.1} + w_{p6.1} = 0,295 + 0,153 = 0,448;$$

$$W_{6.2} = w_{m6.2} + w_{p6.2} = 0,453 + 0,204 = 0,657;$$

$$W_{7.1} = w_{m7.1} + w_{p7.1} = 1,225 + 0,561 = 1,786;$$

$$W_{7.2} = w_{m7.2} + w_{p7.2} = 1,381 + 0,576 = 1,957;$$

$$W_{7.3} = w_{m7.3} + w_{p7.3} = 1,501 + 0,691 = 2,192;$$

$$W_{7.4} = w_{m7.4} + w_{p7.4} = 1,542 + 0,69 = 2,232.$$

Для определения усилий  $P_i$  ветровую нагрузку относят к площади, ограниченной контуром  $A_{ki}$  на каждом участке, кН:

$$P_1 = W_1 \cdot A_{k1} \cdot 2 = 1,411 \cdot 118,56 \cdot 0,16 \cdot 2 = 53,52 \quad (4.30)$$

$$P_2 = W_2 \cdot A_{k2} \cdot 6 = 0,977 \cdot 12,8 \cdot 9,989 \cdot 6 = 749,51$$

$$P_3 = W_3 \cdot A_{k3} \cdot 6 = 1,387 \cdot 95,22 \cdot 6 = 792,42$$

$$P_4 = W_4 \cdot A_{k4} \cdot 6 = 1,493 \cdot 12,8 \cdot 10,011 \cdot 6 = 1147,885$$

$$P_5 = W_5 \cdot A_{k5} = 1,51 \cdot 84,5 \cdot 18,5 = 2360,507$$

$$P_{6.1} = W_{6.1} \cdot A_{k6.1} \cdot 2 = 0,448 \cdot 51,532 \cdot 3,585 \cdot 2 = 165,529$$

$$P_{6.2} = W_{6.2} \cdot A_{k6.2} \cdot 2 = 0,657 \cdot 48,859 \cdot 2,58 \cdot 2 = 165,759$$

$$P_{7.1} = W_{7.1} \cdot A_{k7.1} = 1,786 \cdot 26,94 \cdot 14,89 = 716,855$$

$$P_{7.2} = W_{7.2} \cdot A_{k7.2} = 1,957 \cdot 18,4 \cdot 35,272 = 1270,12$$

$$P_{7.3} = W_{7.3} \cdot A_{k7.3} = 2,192 \cdot 9,2 \cdot 6,852 = 138,18$$

$$P_{7.4} = W_{7.4} \cdot A_{k7.4} = 2,232 \cdot 16,335 \cdot 6,799 = 247,889$$

Плечи приложения этих сил относительно свободной поверхности воды:

$$R_1 = 0,08 \text{ м}; R_2 = 5,154 \text{ м}; R_3 = 13,149 \text{ м}; R_4 = 21,154 \text{ м}; R_5 = 35,41 \text{ м};$$

$$R_{6.1} = 42,719 \text{ м}; R_{6.2} = 74,108 \text{ м}; R_{7.1} = 52,105 \text{ м}; R_{7.2} = 77,186 \text{ м}; R_{7.3} = 98,249 \text{ м};$$

$$R_{7.4} = 109,842 \text{ м}.$$

Суммарный момент от ветровой нагрузки, кН·м:

$$\begin{aligned}
M &= M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_{6.1} + M_{6.2} + M_{7.1} + M_{7.2} + M_{7.3} + M_{7.4} = P_1 \cdot R_1 + \\
&P_2 \cdot R_2 + P_3 \cdot R_3 + P_4 \cdot R_4 + P_5 \cdot R_5 + P_{6.1} \cdot R_{6.1} + P_{6.2} \cdot R_{6.2} + P_{7.1} \cdot R_{7.1} + P_{7.2} \cdot R_{7.2} + \\
&P_{7.3} \cdot R_{7.3} + P_{7.4} \cdot R_{7.4} = 53,52 \cdot 0,08 + 749,51 \cdot 5,154 + 792,42 \cdot 13,149 + 1147,885 \times \\
&\times 21,154 + 2360,507 \cdot 35,41 + 165,529 \cdot 42,719 + 165,759 \cdot 74,108 + 716,855 \\
&\times 52,105 + 1270,12 \cdot 77,186 + 138,18 \cdot 98,249 + 247,889 \cdot 109,842 = 4,281 + \\
&+ 3862,974 + 10419,53 + 24282,359 + 83585,552 + 7071,233 + 12284,067 + \\
&+ 37351,729 + 98035,482 + 13576,046 + 27228,623 = 317701,876.
\end{aligned}$$

Усилие от ветровой нагрузки, кН:

$$\begin{aligned}
P &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{6.1} + P_{6.2} + P_{7.1} + P_{7.2} + P_{7.3} + P_{7.4} = 53,52 + 749,51 \\
&+ 792,42 + 1147,885 + 2360,507 + 165,529 + 165,759 + 716,855 + 1270,12 + \\
&+ 138,18 + 247,889 = 7808,174.
\end{aligned}$$

### 4.3.2. Нагрузка от воздействия течений

Продольную составляющую силы от воздействия течения на плавучий объект  $N_w$  следует определять по формуле (102) [2, п. 4.3], кН:

$$N_w = 0,59 A_t v_l^2, \quad (4.31)$$

где  $A_t$  – лобовая подводная площадь парусности плавучего объекта, м<sup>2</sup>;  $v_l$  – продольная составляющая скорости течения обеспеченностью 2% за навигационный период, равная 0,4115 м/с.

Таким образом, составляющая силы по формуле (4.31) равна, кН:

$$N_w = 0,59 \cdot 9,98875 \cdot 17,2 \cdot 0,4115^2 = 17,164.$$

### 4.3.3. Волновая нагрузка

Максимальное значение продольной горизонтальной силы от воздействия волн на плавучий объект  $N$  следует определять по формуле (104) [2, п. 4.4], кН:

$$N = \chi \rho g h A_t, \quad (4.32)$$

где  $\chi$  – коэффициент, принимаемый по рис. 32 [2, п. 4.4], на котором  $d_s$  – осадка плавучего объекта, м;  $h$  – высота волны обеспеченностью 5 %, равная 2,07 м;  $A_t$  – лобовая подводная площадь парусности плавучего объекта, м<sup>2</sup>.

При  $d_s/\lambda = 9,98875 / 352 = 0,0284$ , принимаем по графику на рис. 32 [2, п. 4.4] значение коэффициента  $\chi = 0,85$ .

Таким образом, по формуле (3.66) сила равна, кН:

$$N = 0,85 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,07 \cdot 9,98875 \cdot 17,2 = 3039,408.$$

Максимальное значение поперечной  $Q$  горизонтальной силы от воздействия волн на плавучие объекты следует определять по формуле(103) [2, п. 4.4],кН:

$$Q = \chi \gamma_l \rho g h A_l; \quad (4.33)$$

где  $\chi$  - коэффициент, принимаемый по рис. 32 [2, п. 4.4], на котором  $d_s$  - осадка плавучего объекта, м;  $h$  – высота волны обеспеченностью 5 %,равная 2,07 м;  $A_l$  – боковая подводная площадь парусности плавучего объекта, м<sup>2</sup>  $\gamma_l = 0,4$  - коэффициент, принимаемый по табл. 21а\*[2, п. 4.4], в которой  $a_l$  - наибольший горизонтальный размер продольного силуэта подводной части плавучего объекта.

При  $d_s/\lambda = 9,98875 / 352 = 0,0284$ , принимаем по графику на рис. 32 [2, п. 4.4] значение коэффициента  $\chi = 0,85$ .

Таким образом, по формуле (4.33) сила равна, кН:

$$Q = 0,85 \cdot 0,4 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,07 \cdot 9,98875 \cdot 118,56 = 8380,286.$$

Результаты расчетов приведены на рис.4.3

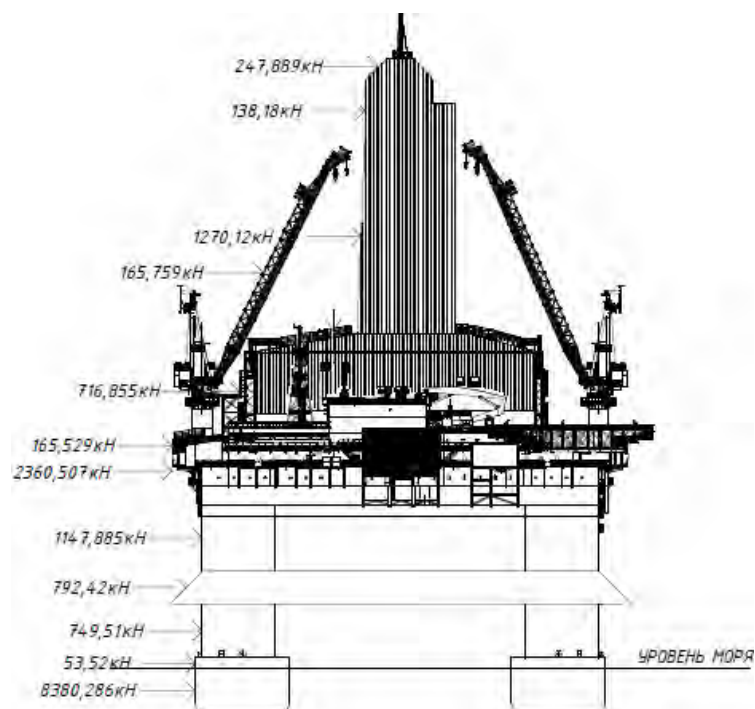


Рис. 4.3. Волновая и ветровая нагрузка при транспортировке

#### 4.3.4. Расчет устойчивости платформы

Необходимо произвести расчет устойчивости платформы в транспортном положении. Целью расчета является определение величины восстанавливающего момента и сравнение его с величиной опрокидывающего момента.

Водоизмещение понтонов при осадке 9,98875 м (при транспортировке на барже) и крене 0°, м<sup>3</sup>:

$$V = 40325,812;$$

$$V_{II} = 20162,906.$$

Определяем метацентрическую высоту, когда угол крена платформы равен 10°. При крене 10° под водой окажется один полностью погруженный пантон с частично погруженными колоннами и частично погруженный второй пантон. С помощью функции МАСС-ХАР в AutoCADe ищем общий центр водоизмещения полностью погруженного понтона с частично погруженными колоннами и центр водоизмещения частично погруженного понтона. Далее соединяем найденные центры водоизмещения линией. Произведения выталкивающей силы, действующей на каждый объект и длины отрезка от соответствующего центра водоизмещения до точки предположительного центра общего водоизмещения будут равны между собой. Из этого равенства находим координату общего центра водоизмещения. Из точки водоизмещения проводим линию, перпендикулярную линии воды при крене 10°. Место пересечения с осью  $z$  и будет метацентром.

Опрокидывающий момент создается под действием ветра, кН·м:

$$M_{опр.} = 359553,024$$

Находим восстанавливающий момент, кН\*м:

$$M_{восст.} = Q_{ц.т.} * L, \quad (4.34)$$

Где  $Q_{ц.т.} = 402753,74$  кН – водоизмещение;

$L$  – восстанавливающее плечо, м.:

Восстанавливающее плечо можно найти графо-аналитическим способом, тогда  $L = 20,891$  м.



Находим восстанавливающий момент, кН\*м:

$$M_{\text{вост.}} = 402753.74 \cdot 20.89 = 841392.382$$

Таким образом точка метacentра лежит выше точки центра тяжести, а значит положение ППБУ устойчиво. Восстанавливающий момент больше опрокидывающего момента ( $359553,024 \text{ кН*м} < 841392,382 \text{ кН*м}$ ), следовательно, условия остойчивости выполняются. Результаты расчетов приведены на рис. 4.4.

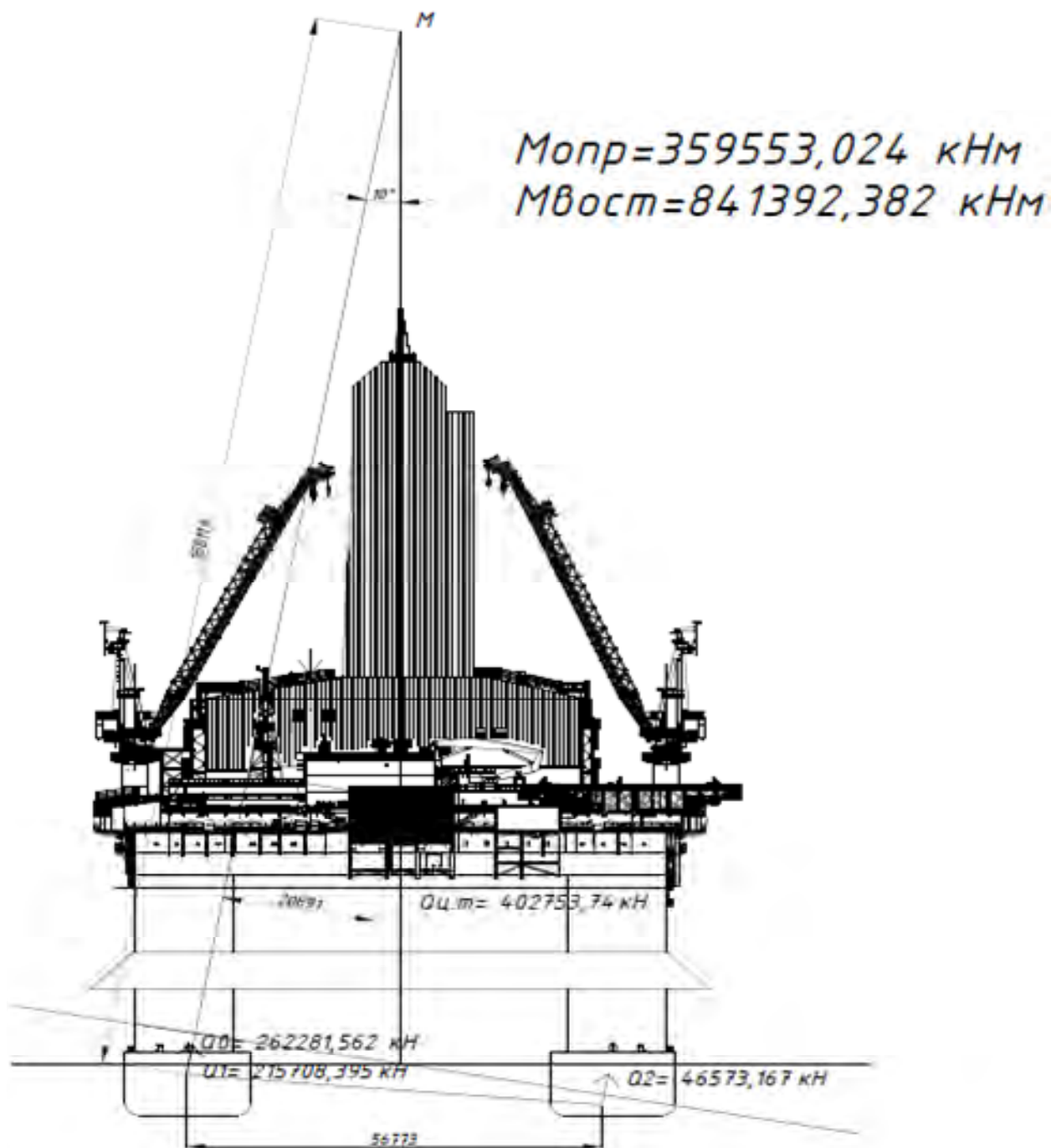


Рис. 4.4 . Схема остойчивости полупогружной платформы при транспортировке

## 5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: Министерство строительства Российской Федерации, 1996.
2. СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М.: Госстрой СССР, 1989.
3. СНиП 2.02.01. Основания зданий и сооружений. М., 1985.
4. ВСН 51.3-85. Проектирование морских стационарных платформ. М., 1985г.
5. Р 31.3.07-01 Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения. М., 2001.
6. ПБ 08-624-03. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. М., 2003.
7. Проектирование обустройства морских нефтегазовых месторождений. М., 2005.
8. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. М., 2006.
9. Носков Б.Д., Правдивец Ю.П. Сооружения континентального шельфа. М., 2004.
10. Скрыпник С.Г. Техника для бурения нефтяных и газовых скважин на море. М., 1989.
11. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Уфа., 2005.
12. Особенности добычи нефти и газа из горизонтальных скважин. М., 2009.
13. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти. М., 2005.
14. Соколов Г.К. и др. Контроль качества выполнения строительно-монтажных работ. М., 2008.
15. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения. М., 2004.
16. Белицкий Б.Ф. Строительные машины и оборудование. Справочное пособие. Ростов-на –Дону., 2014.
17. Веселов В.А. Проектирование оснований и фундаментов. М., 1985.
18. Структура, оформление и номенклатура данных дипломного проекта. Методические указания к дипломному проектированию. Составители В.А. Перфилов, В.А. Филатов, И.Г. Лукина. Волгоград 2012.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2015 г., поз. 18

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 02.04.2015.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,6. Объем данных 314 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)