Исследование воздействия волн на большие плавучие сооружения

Диссертация на соискание академической степени магистра

КОНДРАТОВА Е. В.

Актуальность диссертационной работы

- Создаются искусственные острова для промышленных объектов, плавучих городов, аэродромов и пр.;
- Осваиваются нефтепромыслы на больших глубинах;
- Создаются новые волновые электростанции, использующие экологически – чистые источники энергии.

Проблема волновых нагрузок при проектировании новых морских объектов

Проблема создания концентраторов волновой энергии

Цель работы

Цель: **исследование воздействий волн на большие плавучие гидротехнические сооружения, выбор форм сооружений.**

Выбор темы работы объясняется тем, что влияние нагрузок со стороны моря на стационарные прибрежные объекты изучены достаточно глубоко и подробно. Что касается нефтедобывающих сооружений на континентальном шельфе, искусственных островов (начавшим свое развитие относительно недавно), то можно сказать о недостаточной проработке проблемы их взаимодействия с волнением.

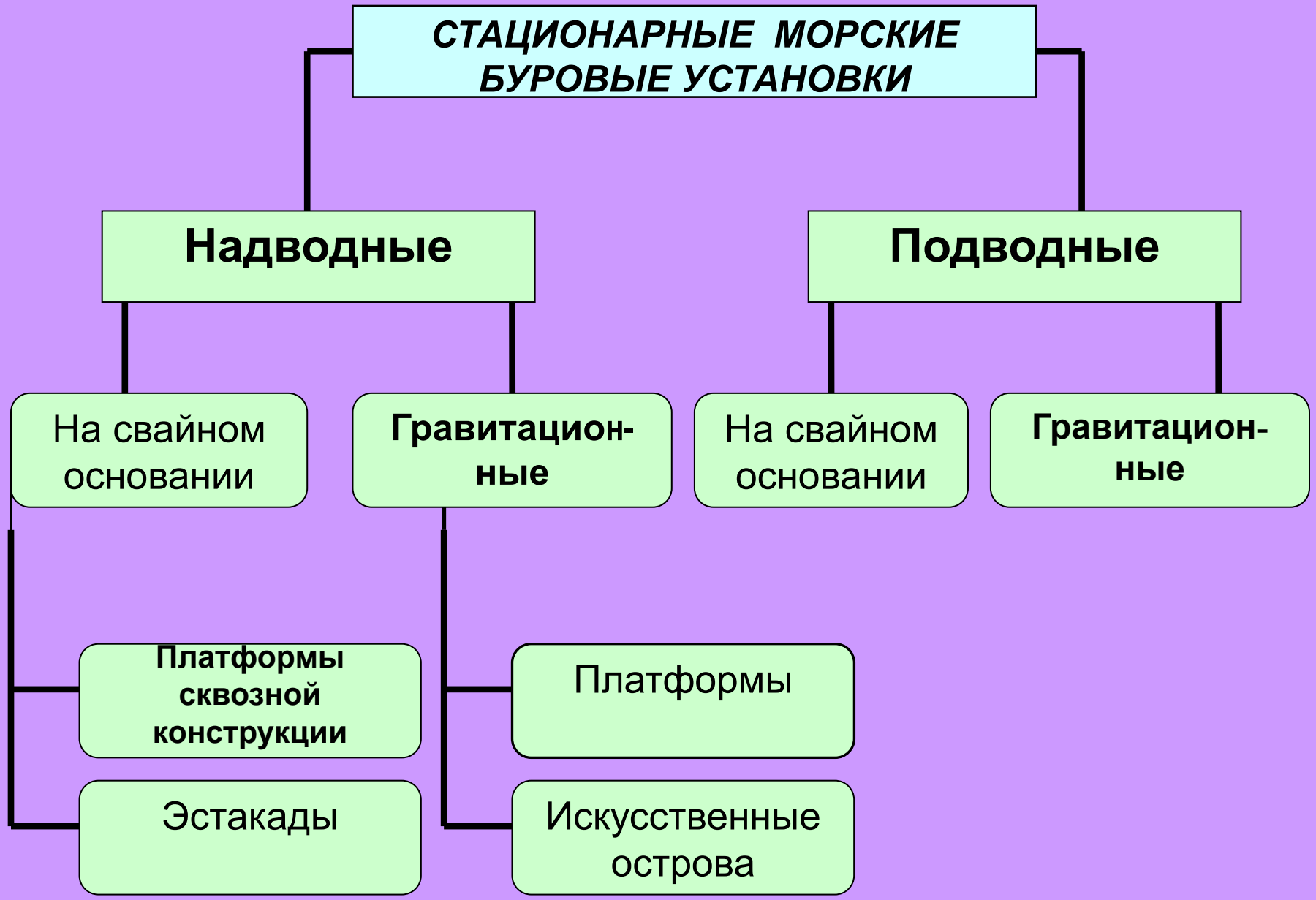
Задачи работы

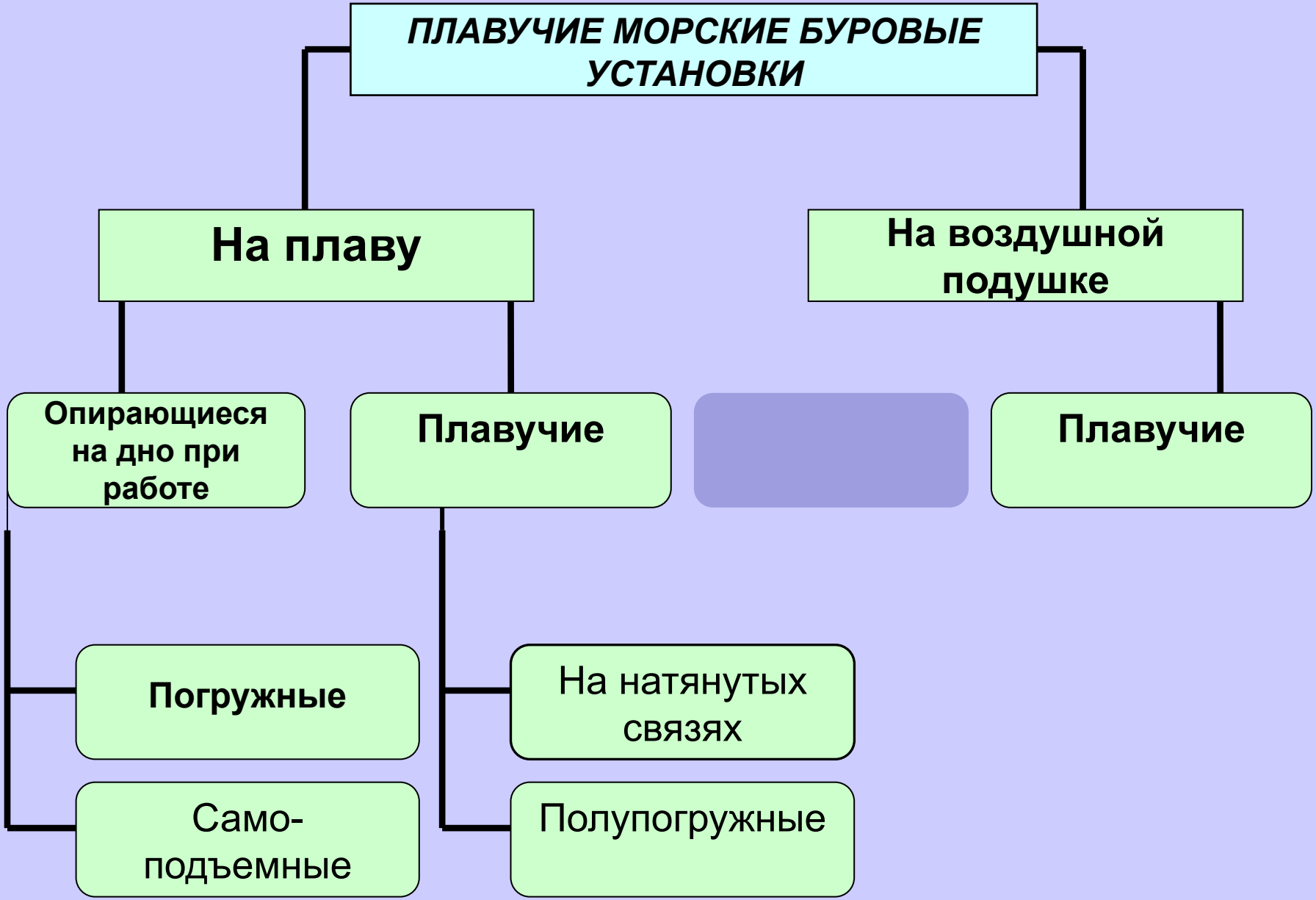
Для достижения цели были поставлены *следующие задачи*:

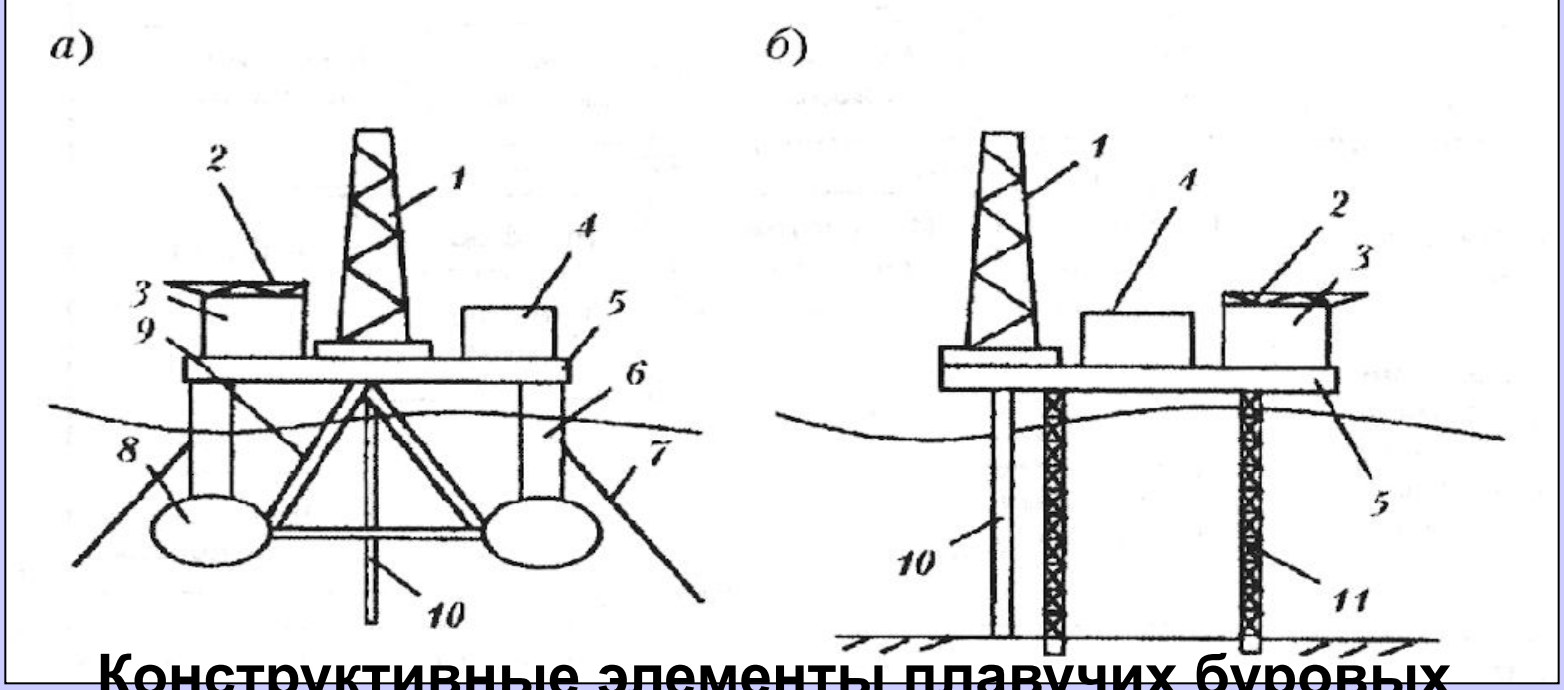
1) Разработка расчётных моделей.

2) Исследование взаимодействия сооружений с волнением при различной осадке, высоте надводного борта и форме борта. Оценка возможности слеминга и заливания.

3) Анализ результатов и выбор формы сооружений.


СТАЦИОНАРНЫЕ МОРСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ
Надводные
Подводные
На свайном основании
Гравитацион-ные
На свайном основании
Гравитацион-ные
Платформы сквозной конструкции
Эстакады
Платформы
Искусственные острова


ПЛАВУЧИЕ МОРСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ
На плаву
На воздушной подушке
Опирающиеся на дно при работе
Плавучие
Плавучие
Погружные
Само-подъемные
На натянутых связях
Полупогружные



Конструктивные элементы плавучих буровых установок:

а) - ППБУ; б) - СПБУ

1 - буровая вышка;
2 - вертолетная площадка;
3 - жилой блок (жилой модуль);
4 - функциональный блок (функциональный модуль);
5 - корпус, «верхнее строение» для СПБУ применяют название «понтон»;
6 - стабилизирующая колонна;
7 - якорная связь;
8 - водоизмещающий понтон (иногда называют «нижний понтон»);
9 - решетка;
10 - буровая колонна;
11 - опорная колонна

Проекты плавучих городов

Города-острова LilyPad

Винсент Каллебот (Vincent Callebaut) спроектировал гигантские города-острова, на которых люди смогут выжить в случае всемирного потопа.

Проект New Orleans Arcology Habitat

Кевин Шопфер придумал необычную концепцию экологичного существования для Нового Орлеана.

Искусственные острова

Международный аэропорт Кансай

Искусственный архипелаг The World

Пальмовые острова

Наиболее распространённой задачей вычислительной гидродинамики является численное решение уравнений Навье-Стокса (1)и уравнения неразрывности (2).

$$\frac{dv_x}{dt} = g_x - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}\right);$$

$$\frac{dv_y}{dt} = g_y - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2}\right); \qquad (1)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = g_z - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} + \nu\left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}\right).$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \qquad (2)$$

Расчётные алгоритмы FLOW-3D основаны на применении метода конечных разностей (МКР) и его разновидности – метода конечных объёмов.

Построение модели волнопродуктора

Движение волн моделируется условным волнопродуктором путём задания переменных скоростей движения жидкости на левой границе сетки:

$$v_x = V_x \cdot \sin(\omega t)$$

где *Vx* – амплитуда скорости движения волнопродуктора.

В работе моделируются волнопродукторы с различными параметрами волнения:

1) Длина волны λ=100 м, максимальная высота волны *h* =5,4 м, круговая частота $\omega = 0{,}785\tilde{n}^{-1}$ (при периоде волн *τ* = 8 с).

2) Длина волны λ=18 м, максимальная высота волны *h* =1,5 м, круговая частота $\omega = 1{,}744\tilde{n}^{-1}$ (при периоде волн *τ* = 3,6 с).

Расчетная модель

При численном моделировании использована двумерная модель в натуральную величину. Сечение сооружения - в виде преграды на пути волнения.

Жидкость невязкая, несжимаемая. Влиянием воздуха пренебрегается. Силы тяжести учитываются заданием гравитационной постоянной.

Граничные условия:

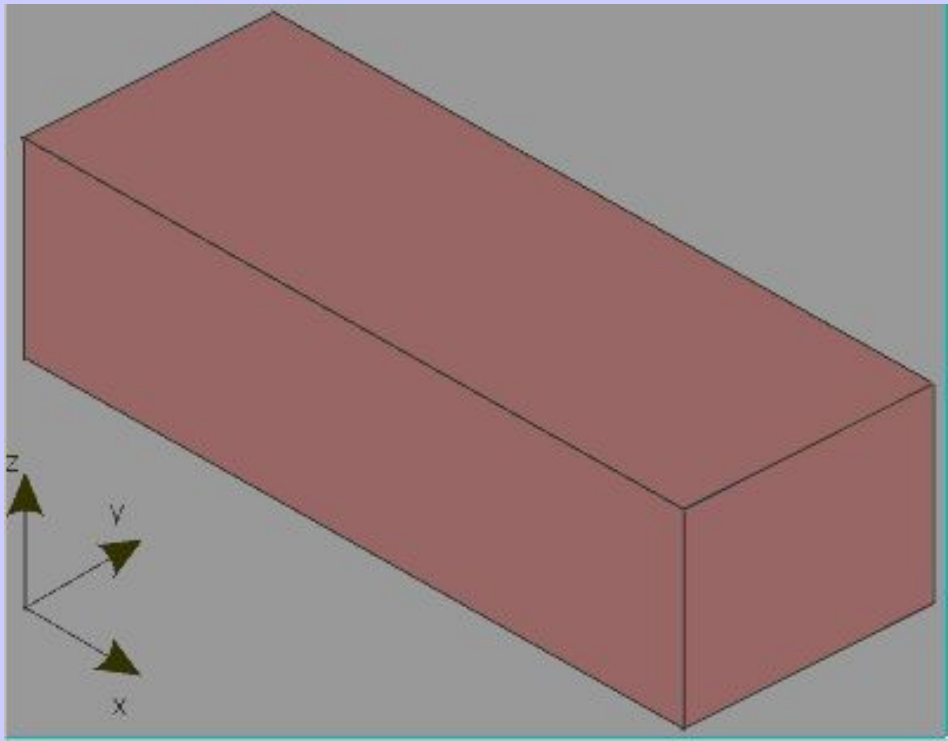
x = -100 м – переменные скорости жидкости (условный волнопродуктор);

x = 100 м – условие отсутствия движения;

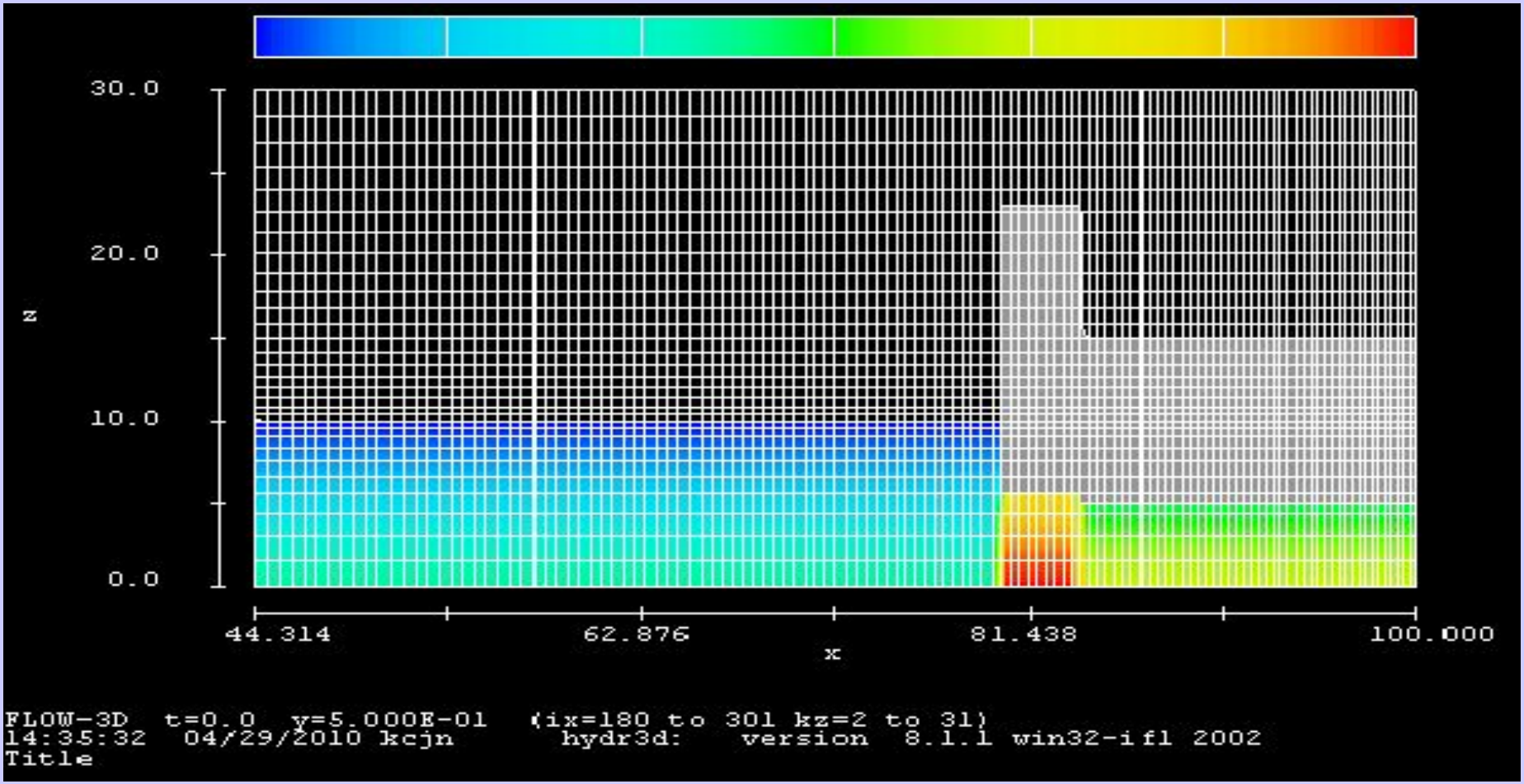
y = 0 м; y = 1 м – условия симметрии;

z = 0 м – твёрдое дно;

z = 10 м – условие продолжения.



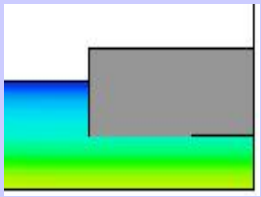
Расчётная сетка: 300 х 30 ячеек. Так как движение нестационарное, при расчёте выполняется численное интегрирование уравнений движения по времени с автоматической адаптацией шага.



Проведён анализ различных вариантов конструкций и параметров волн.

Варианты конструкций:

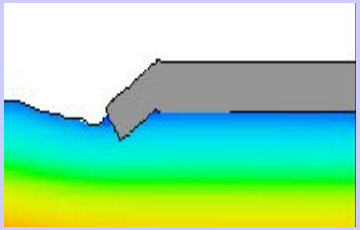
-вертикальная стенка;



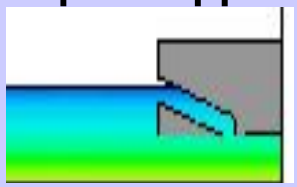
-откосная стенка;

-стенка с парапетом (волноотбойником) – для предотвращения заливания палубы;

-стенка с подводным выступом – для предотвращения днищевого слеминга;



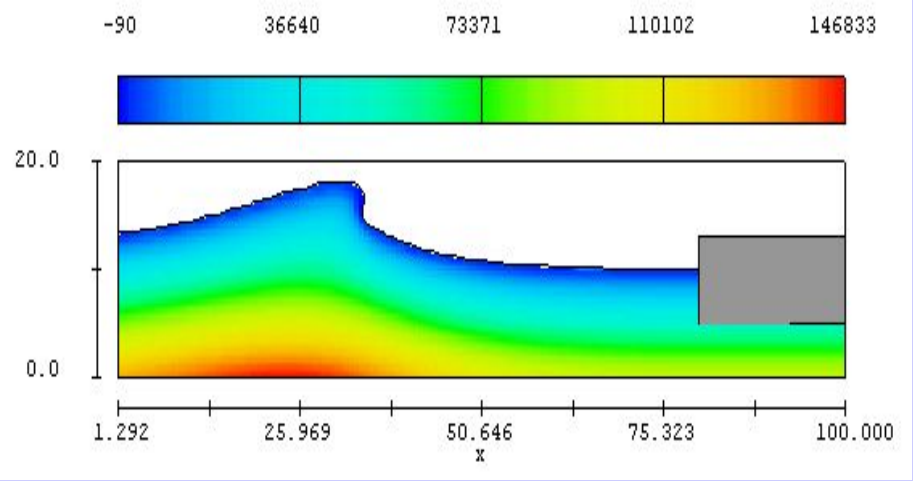
-с отверстиями между бортом и днищем – для уменьшения ударных давлений.

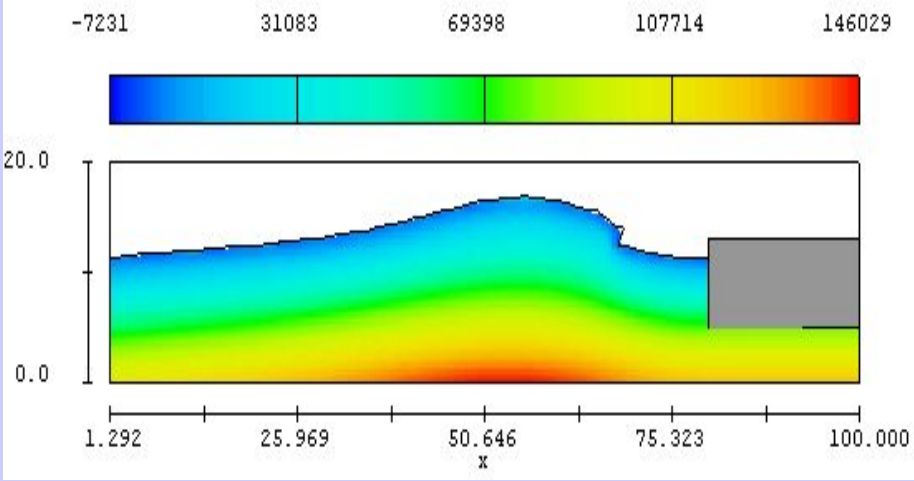


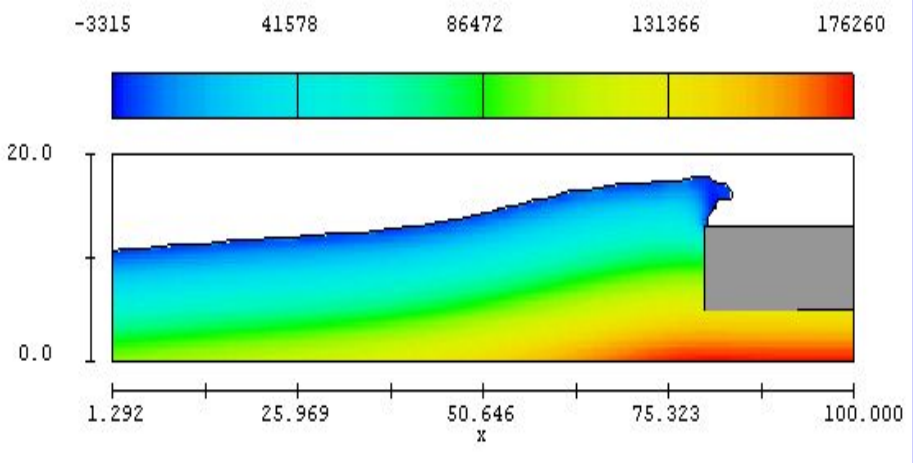
Анализ гидродинамики

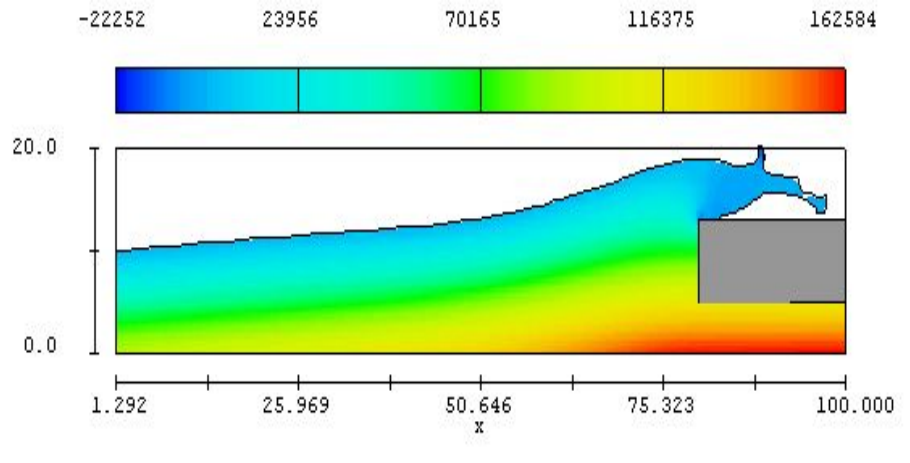
Пример моделирования заливания палубы:

Смоделированное поперечное сечение сооружения имеет размеры: высота борта - 8 м, осадка – 5 м, длина – 21 м. Длина волны - 100 м.



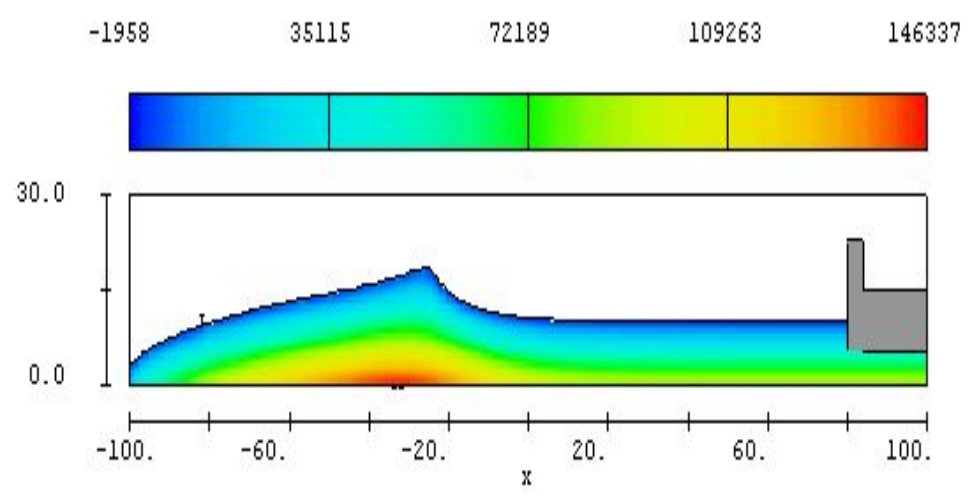


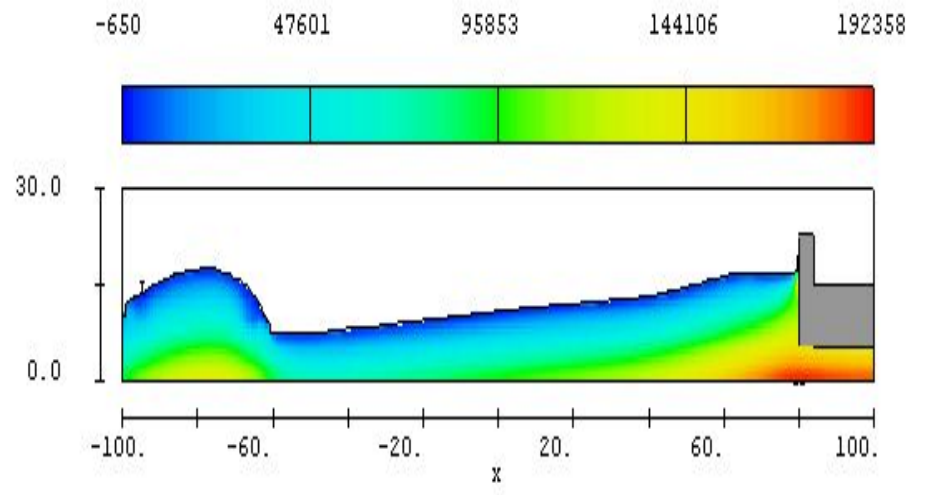


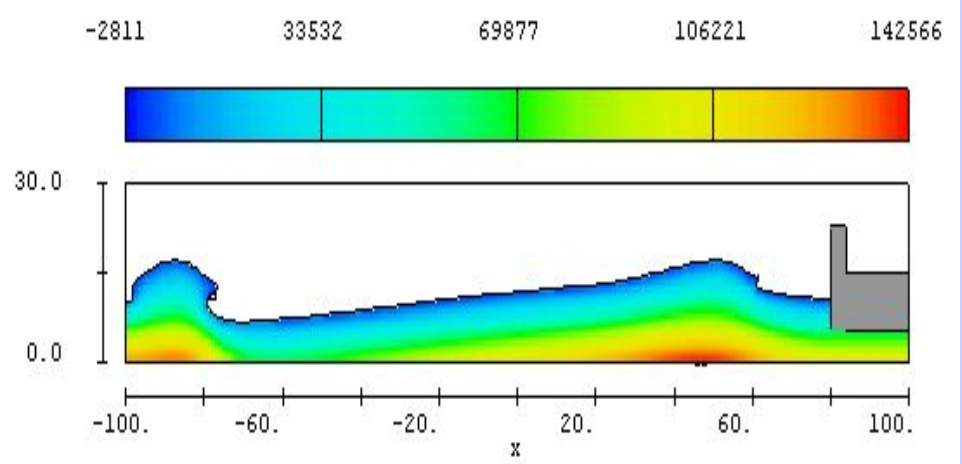


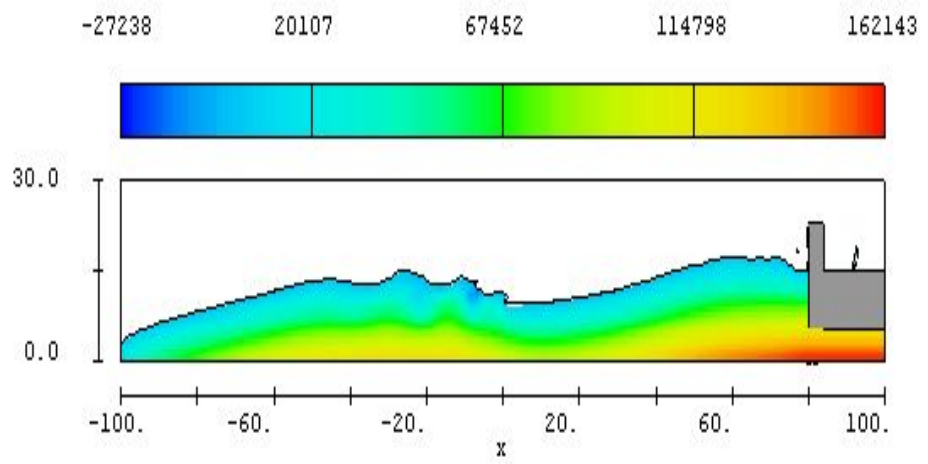
Гидродинамика модели с волноотбойником

Чтобы предотвратить заливания палубы необходимо увеличить высоту надводного борта или предусмотреть парапет (максимальный надводный борт - 13 м)

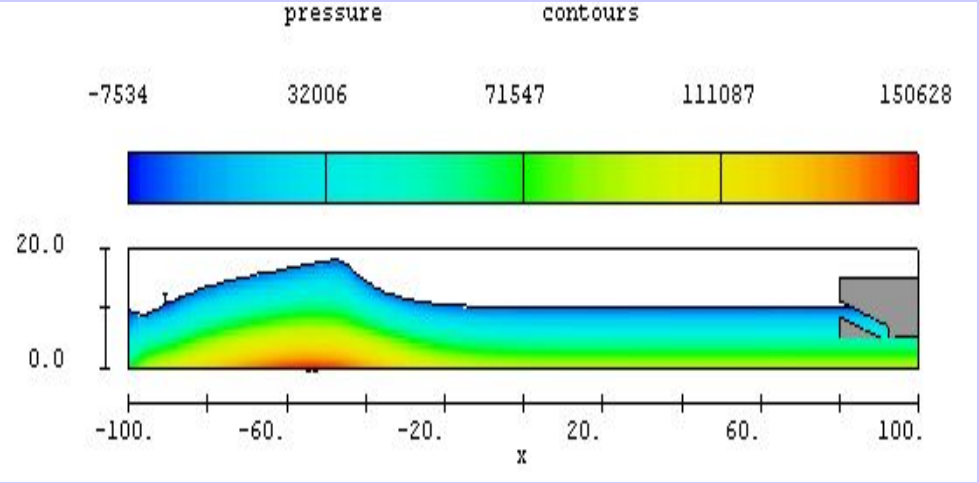


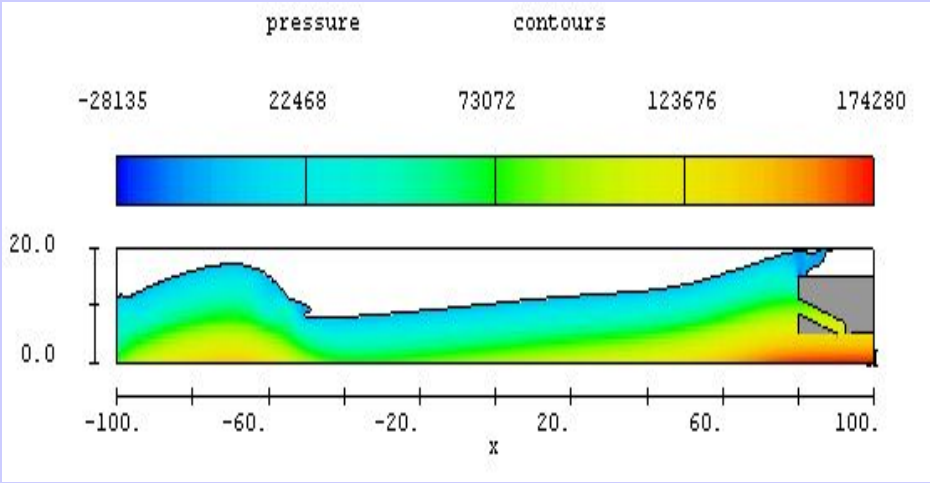


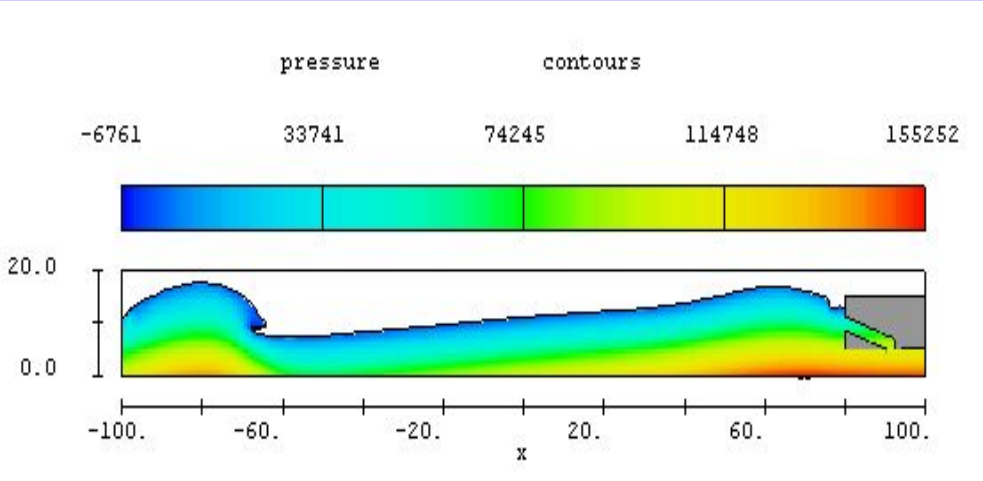


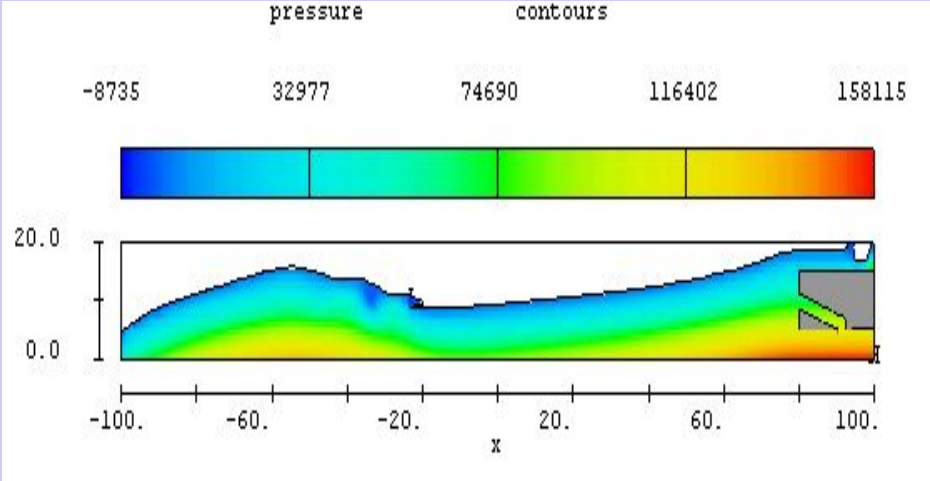


Гидродинамика модели с отверстиями, которые принимают часть волнового потока на себя.



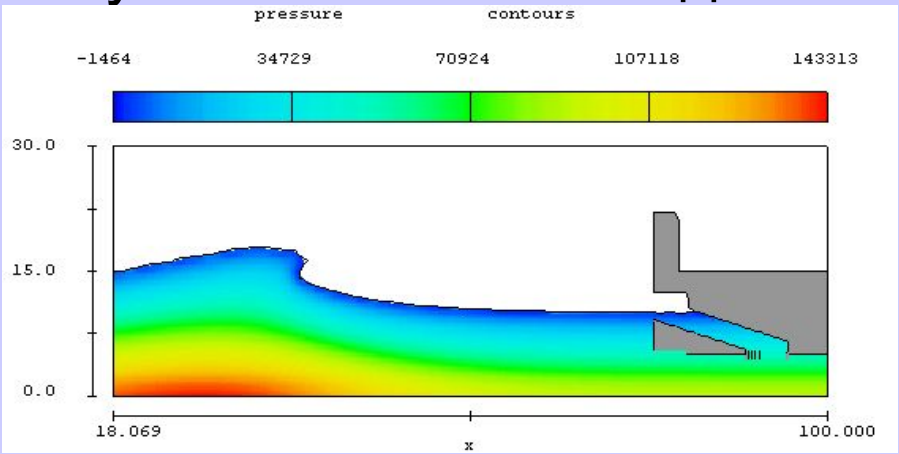


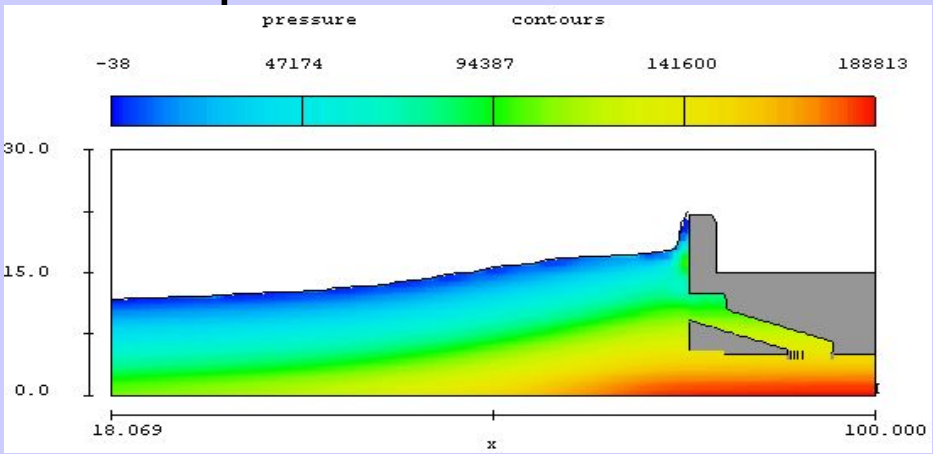


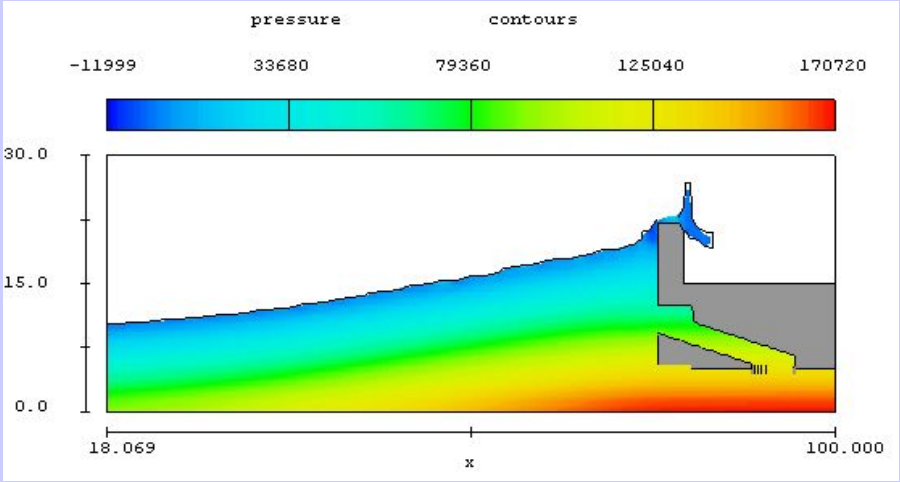


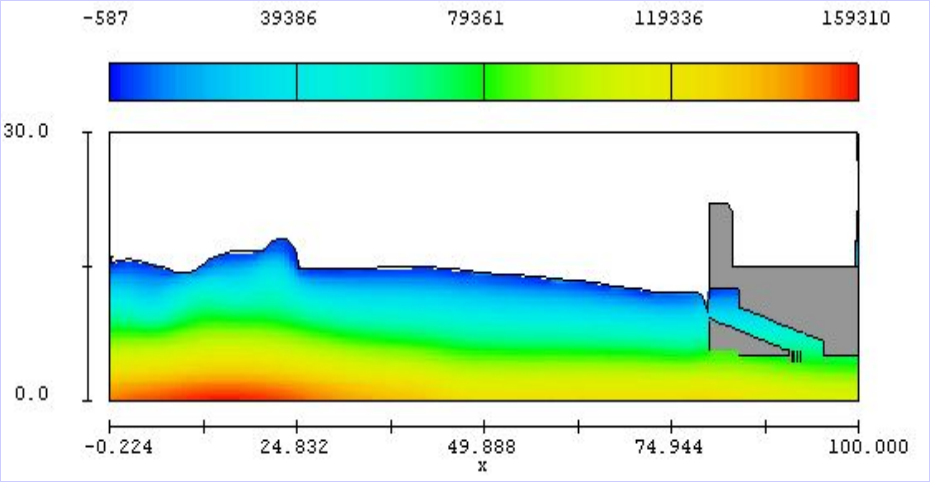
Гидродинамика модели сложной формы

Пример формы, обеспечивающей отсутствие заливания палубы и пониженные давления на борт:



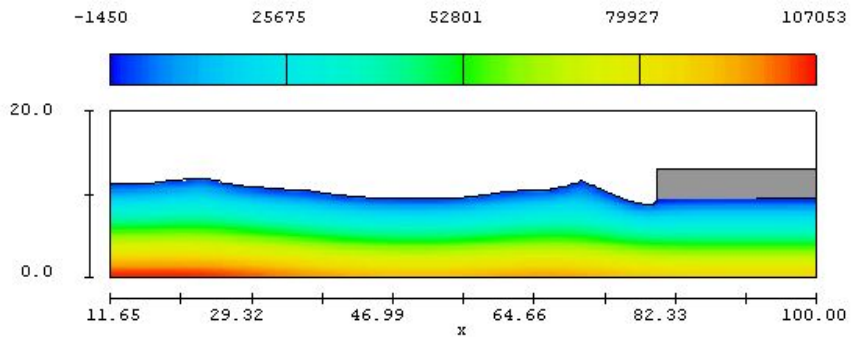


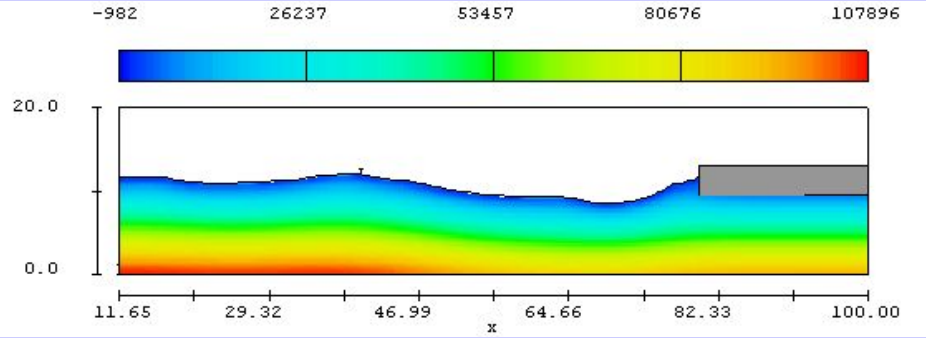


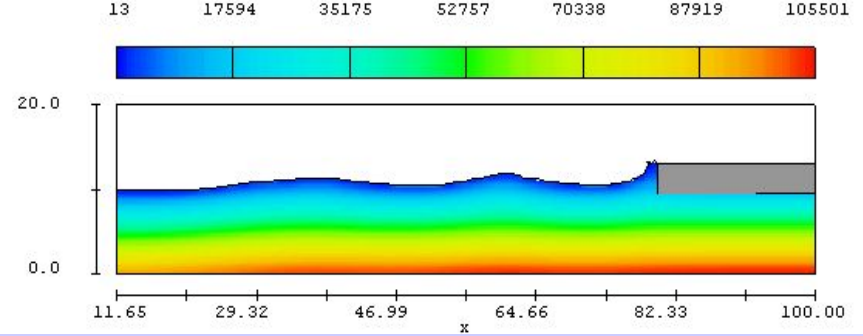


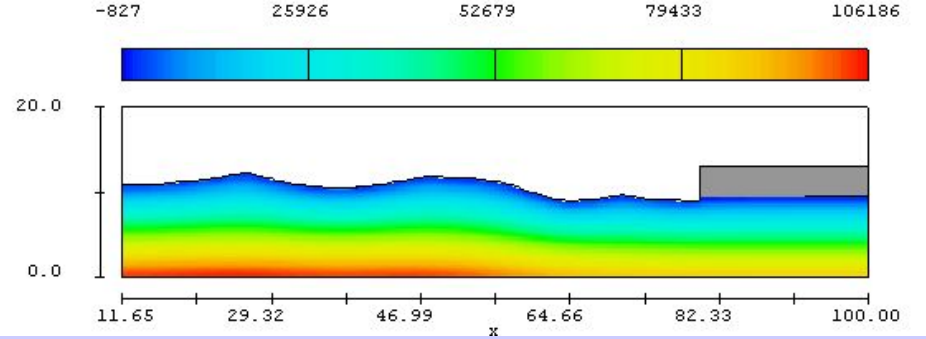
Результаты расчетов моделей при длине волны λ=18 м

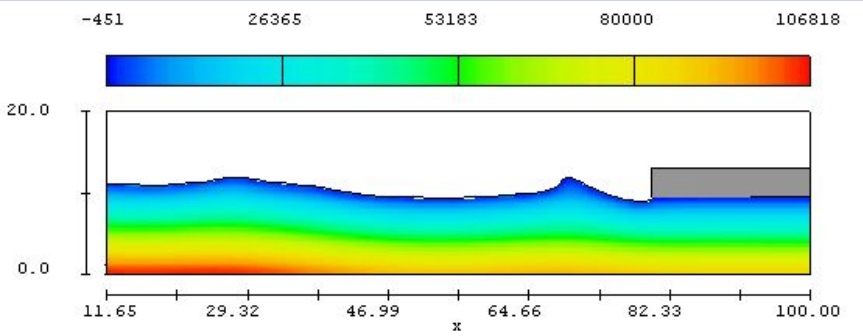
Смоделированное сечение имеет размеры:
высота борта - 3,5 м, осадка – 0,5 м.

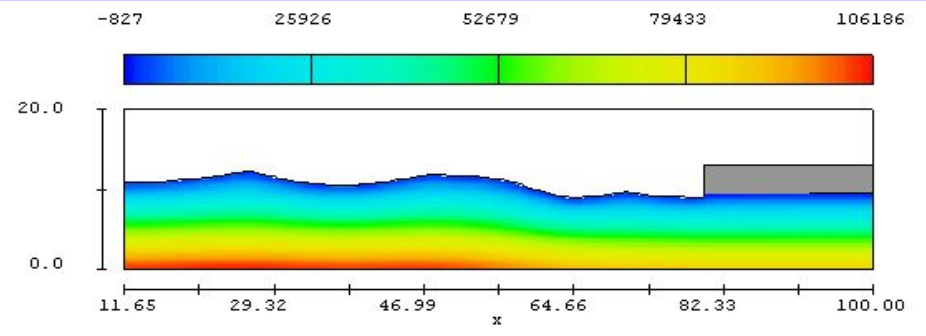








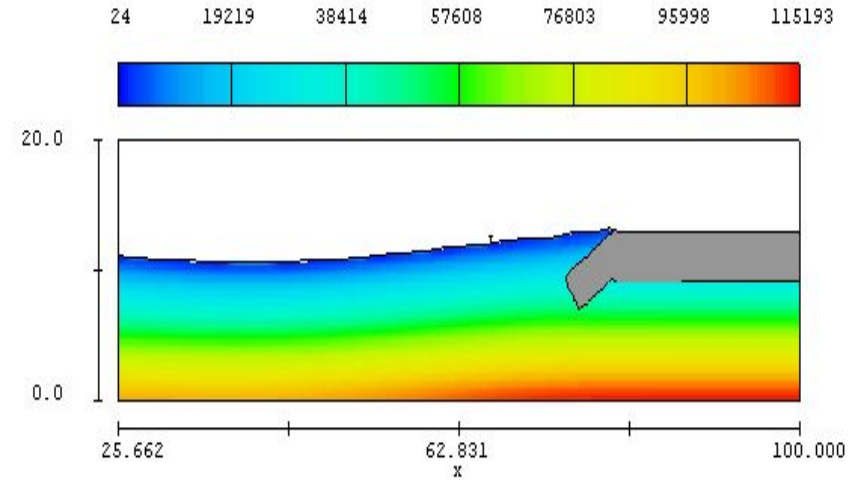


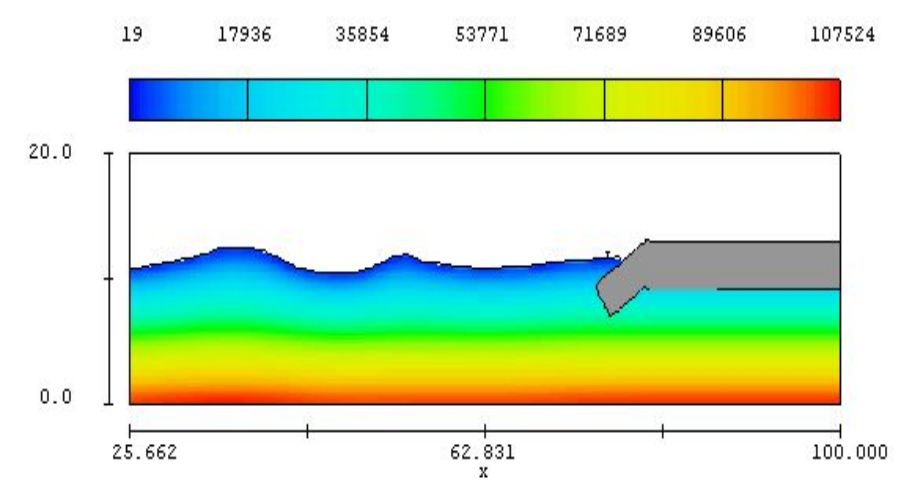


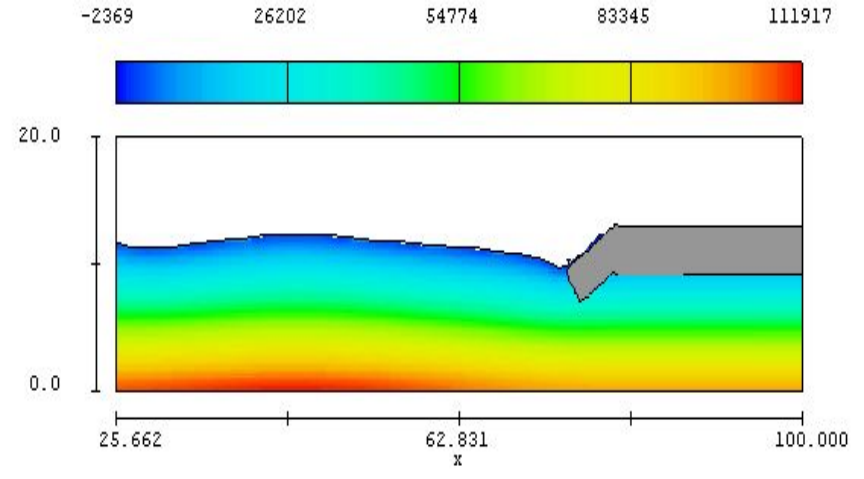
Гидродинамика с взбросом волны у вертикальной стенки

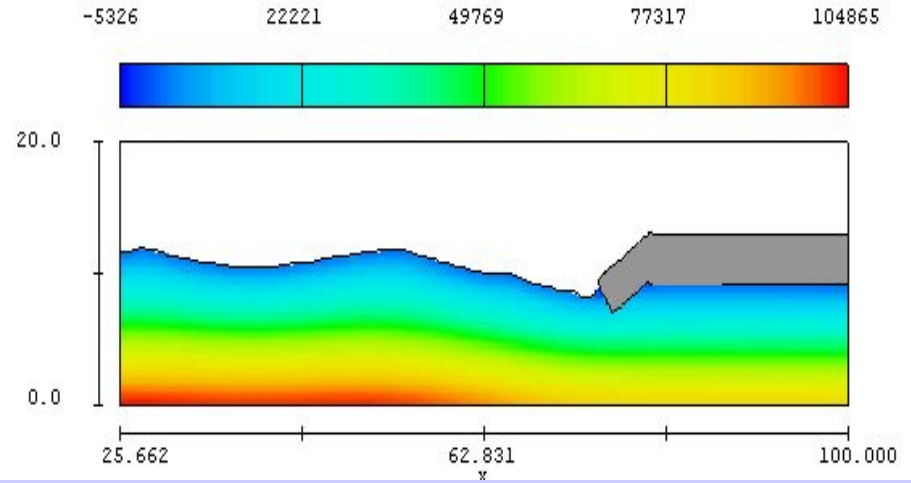
Гидродинамика модели с подводным выступом для предотвращения днищевого слеминга и наклонной стенкой для уменьшения взброса.

Осадка модели – 1 м, высота борта – 4 м.

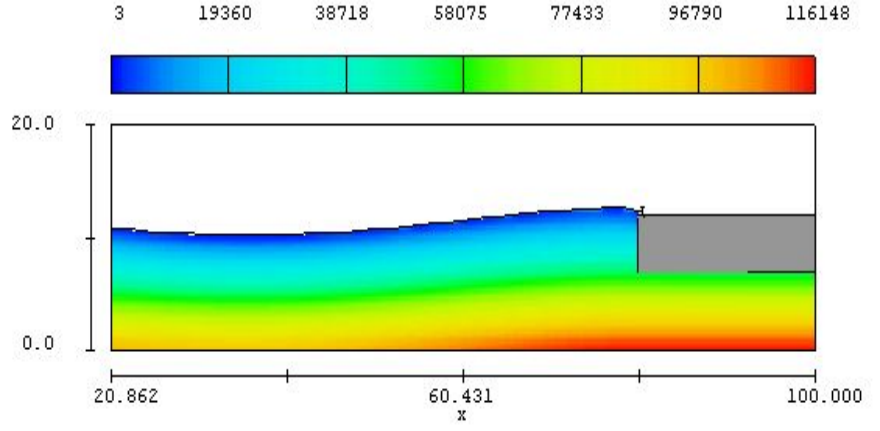


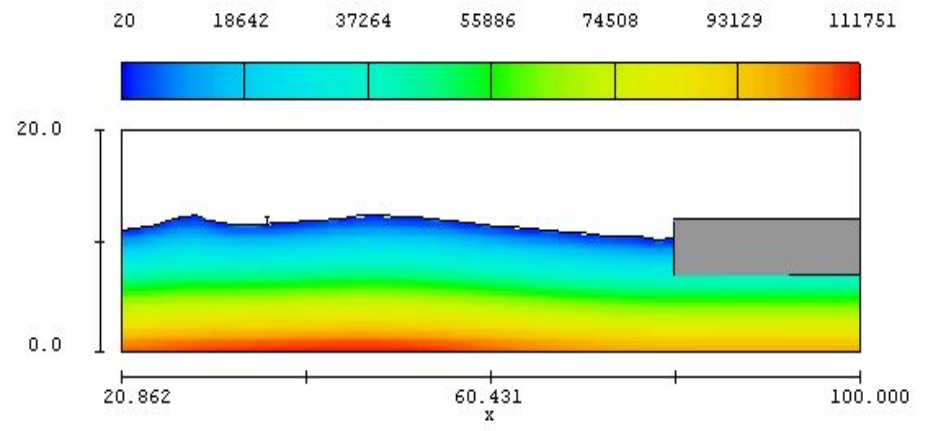


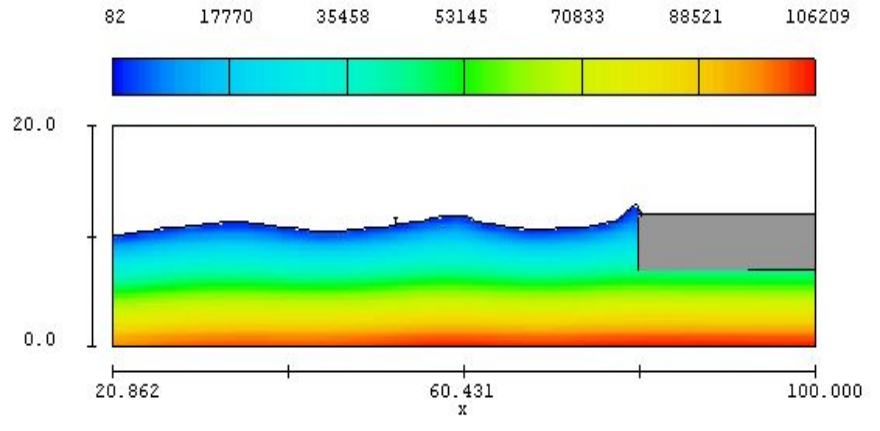


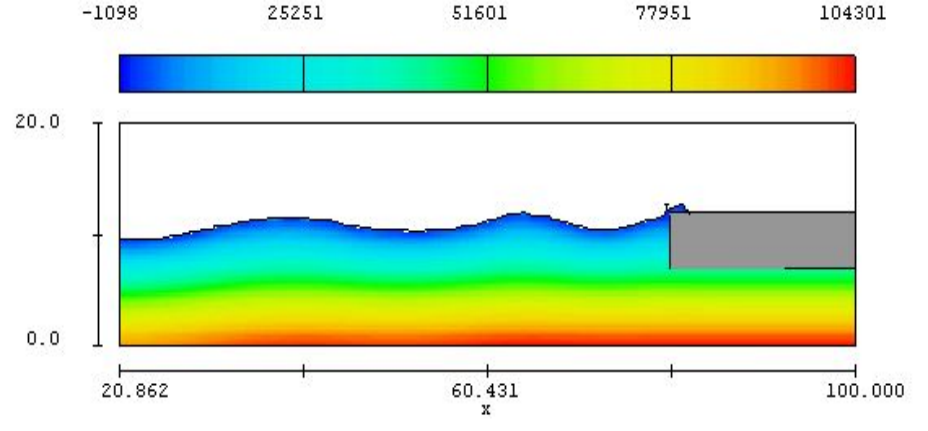


Недостаточная высота надводного борта (2 м) ведет к заливаемости палубы, Такие параметры сооружения позволяют избежать слеминга. Давление на стенку меньше, чем у конструкции с откосной стенкой.









Выводы, основные результаты работы

1 Высота и форма борта сооружений существенно влияет на заливание палубы. Применение конструкции с наклонным бортом позволяет существенным образом снизить заливаемость.
Такая форма в отличие от прямого борта препятствует взбросу волны и уменьшает давление на стенку в 2,3 раза.

2 Заливаемости палубы практически не происходит при отношении высоты борта к высоте волне. $\frac{h_b}{h_v} \approx 2$

3 При недостаточной осадке происходит слеминг – удар волны о днище. Это явление начинает появляться при отношении осадки к высоте волны $\frac{h_o}{h_v} \approx 0{,}3$

4 Для предотвращения слеминга был предложен вариант с откосной стенкой. Эффективность такой формы борта повышается с увеличением прочности конструкции. Необходимо также отметить, что такая форма также уменьшает заливание палубы.

Выводы, основные результаты работы

5 При вертикальном борте происходит взброс волны, возникают отраженные волны. Конструкции с наклонным бортом позволяют решить эту проблему.

6 Отверстия в бортах обеспечивают снижение давления на стенку. Такая конструкция также уменьшает заливание палубы.

7 Отверстия можно применить для использования энергии волн, если установить в нем гидрогенератор. Также, для использования энергии морских волн можно применить конструкцию с подвижной стенкой.

8 Результаты работы могут быть применены при проектировании гидротехнических сооружений, проработке их размерений и конструкции. Компьютерные модели можно использовать для дальнейших исследований.