


***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

На свайном  
основании

Платформы  
сквозной  
конструкции

Эстакады

Гравитацион-  
ные

Платформы

Искусственные  
острова

## Подводные

На свайном  
основании

Гравитацион-  
ные

**ПЛАВУЧИЕ МОРСКИЕ БУРОВЫЕ  
УСТАНОВКИ**

**На плаву**

**На воздушной  
подушке**

**Опирающиеся  
на дно при  
работе**

**Плавучие**



**Плавучие**

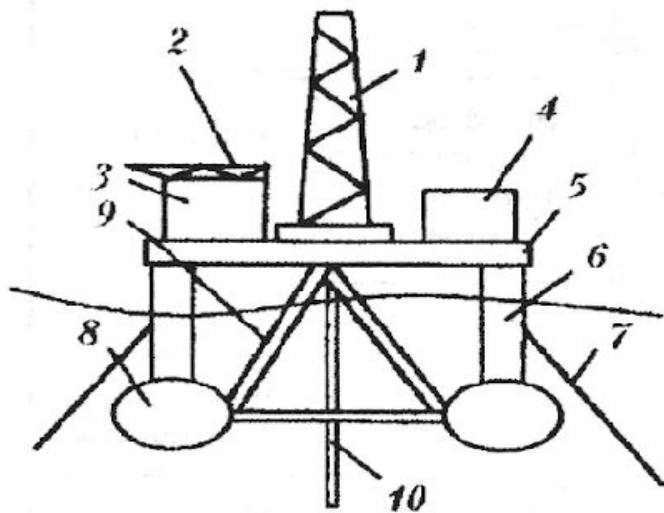
**Погружные**

**Само-  
подъемные**

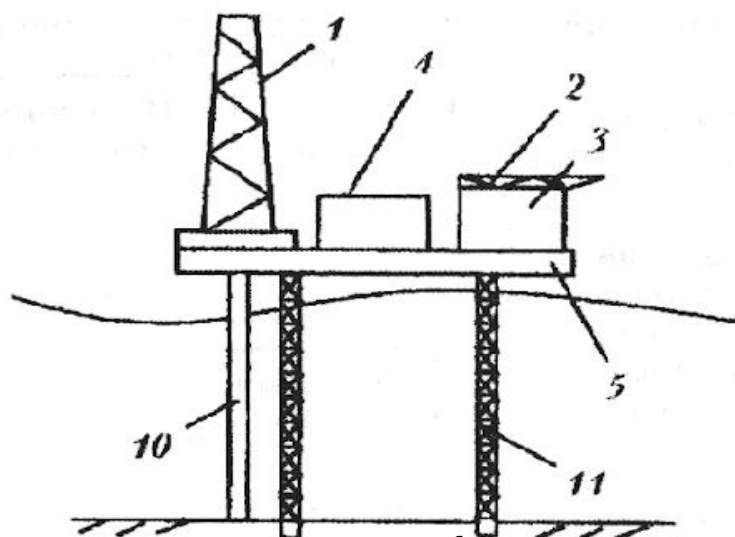
**На натянутых  
связях**

**Полупогружные**

а)



б)



## 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 потопы.



*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).

$$\begin{aligned}\frac{dv_x}{dt} &= g_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \\ \frac{dv_y}{dt} &= g_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \\ \frac{dv_z}{dt} &= g_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right).\end{aligned}\tag{1}$$

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

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  $V_x$  – амплитуда скорости движения волнопродуктора.

В работе моделируются волнопродукторы с различными параметрами волнения:

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

2) Длина волны  $\lambda=18$  м, максимальная высота волны  $h=1,5$  м, круговая частота  $\omega = 1,744\tilde{n}^{-1}$  (при периоде волн  $\tau = 3,6$  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:

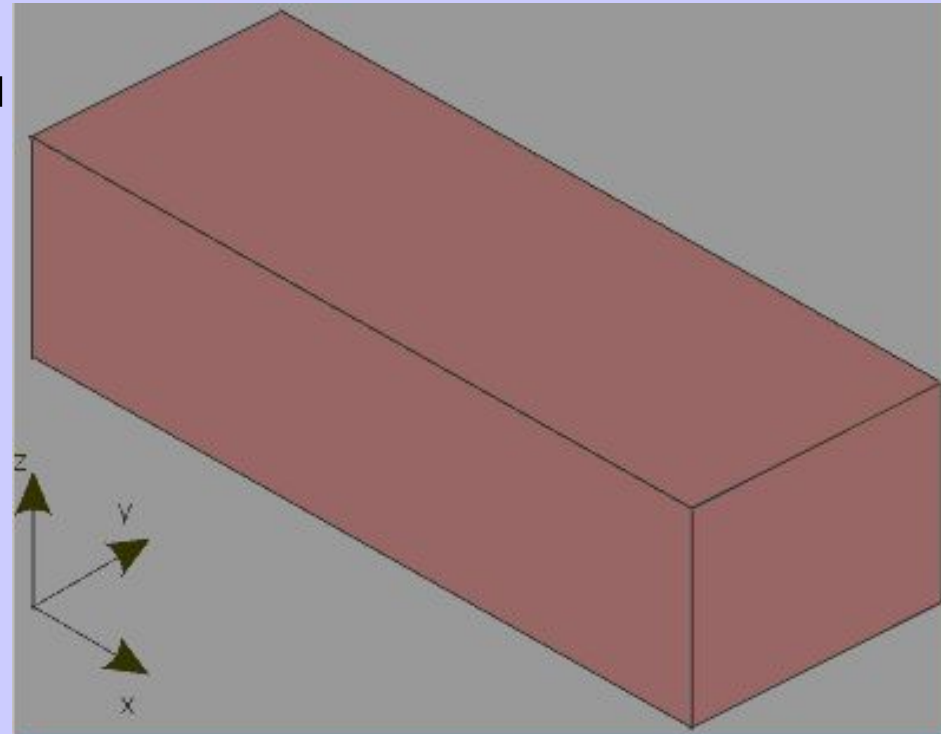
$x = -100$  м – переменные скорости жидкости (условный волнопродуктор);

$x = 100$  м – условие отсутствия движения;

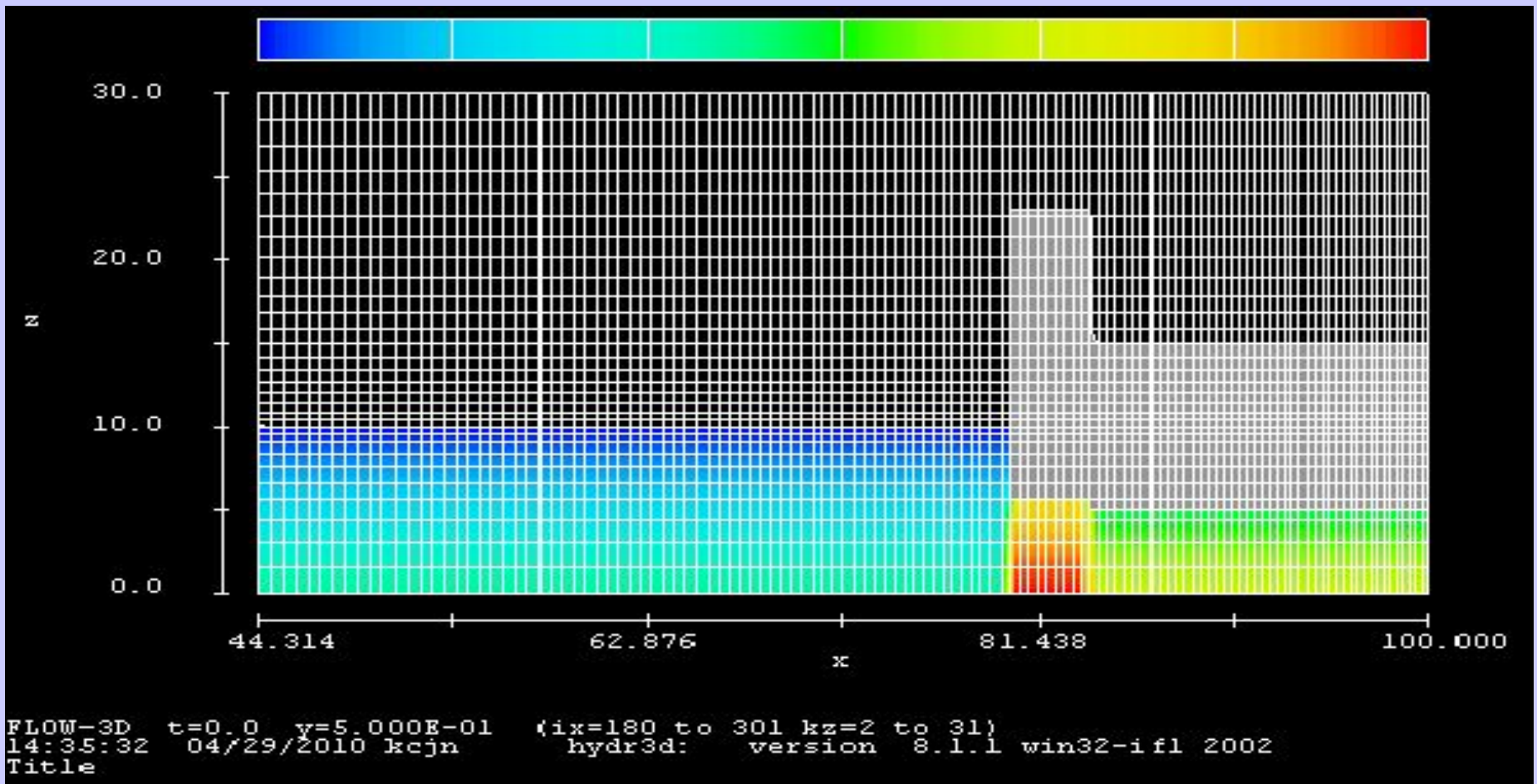
$y = 0$  м;  $y = 1$  м – условия симметрии;

$z = 0$  м – твёрдое дно;

$z = 10$  м – условие продолжения.



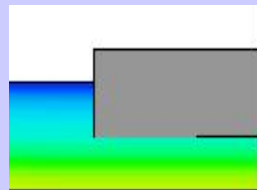
Расчётная сетка: 300 x 30 ячеек. Так как движение нестационарное, при расчёте выполняется численное интегрирование уравнений движения по времени с автоматической адаптацией шага.



# Проведён анализ различных вариантов конструкций и параметров волн.

Варианты конструкций:

-вертикальная стенка;

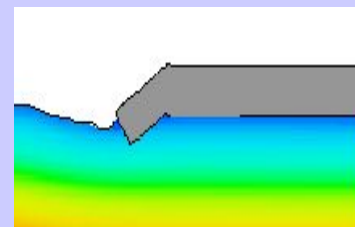
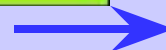


-откосная стенка;

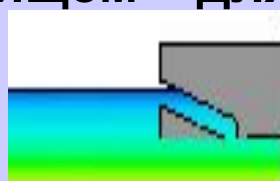
-стенка с парапетом (волноотбойником) – для предотвращения заливания палубы;



-стенка с подводным выступом – для предотвращения днищевого слеминга;



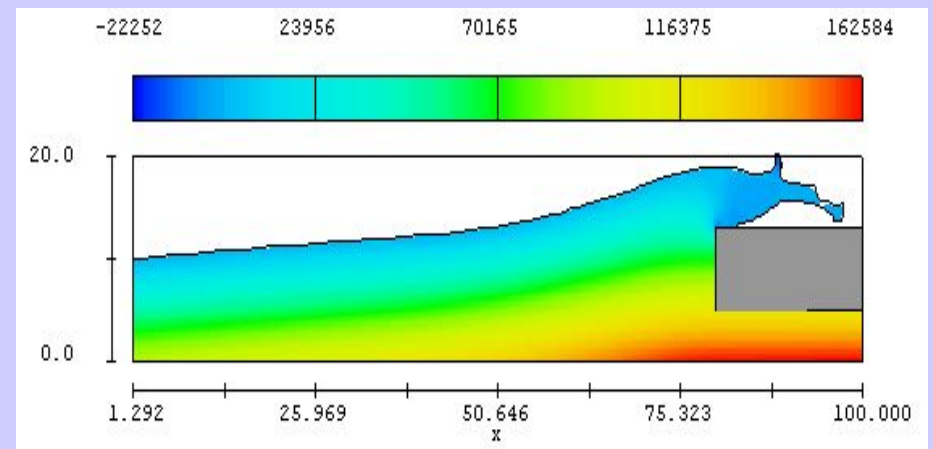
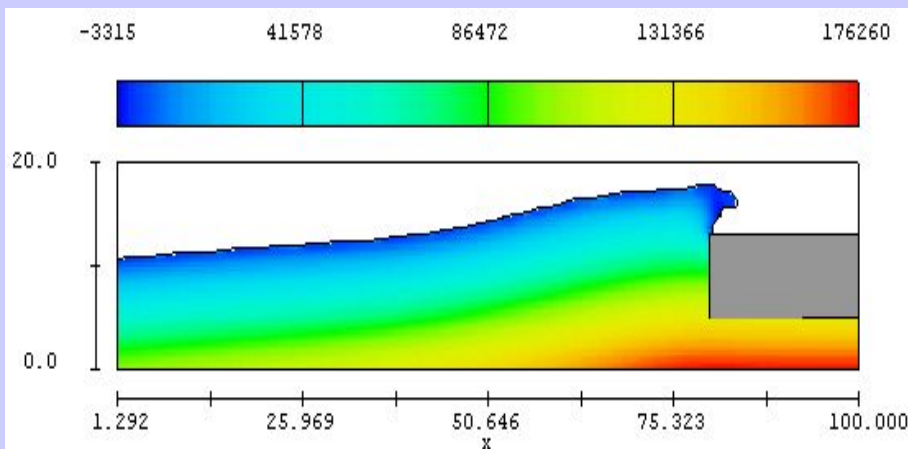
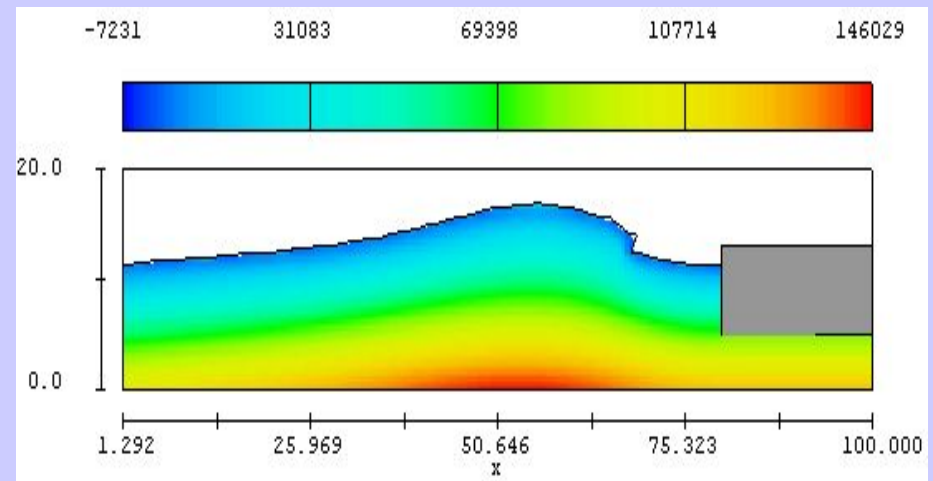
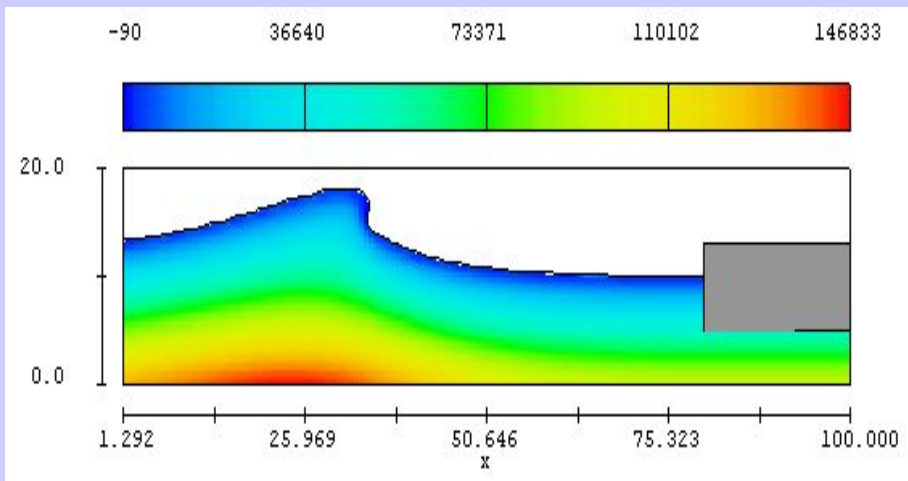
-с отверстиями между бортом и днищем – для уменьшения ударных давлений.



# Анализ гидродинамики

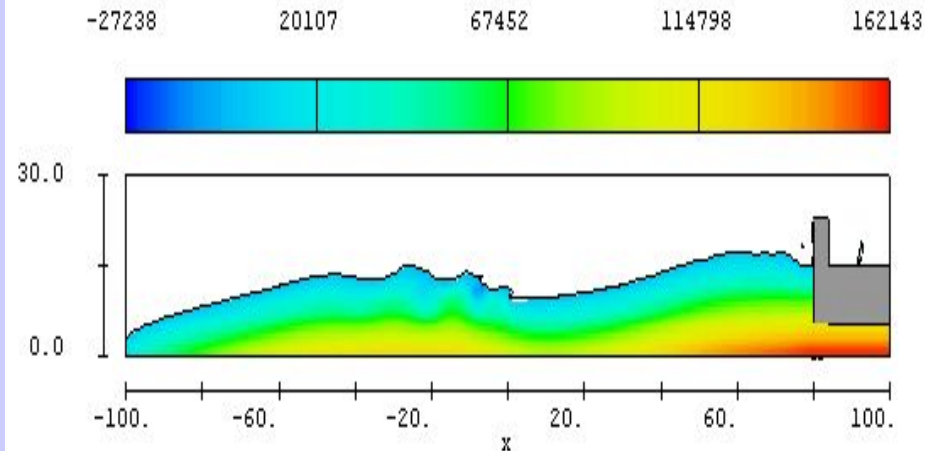
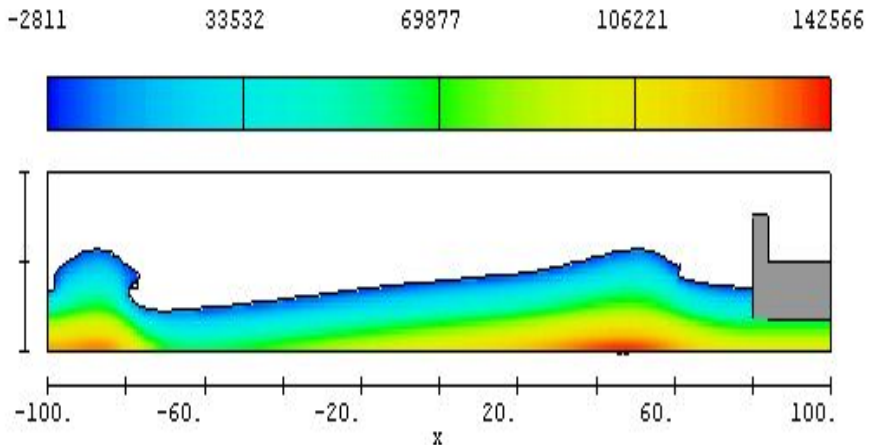
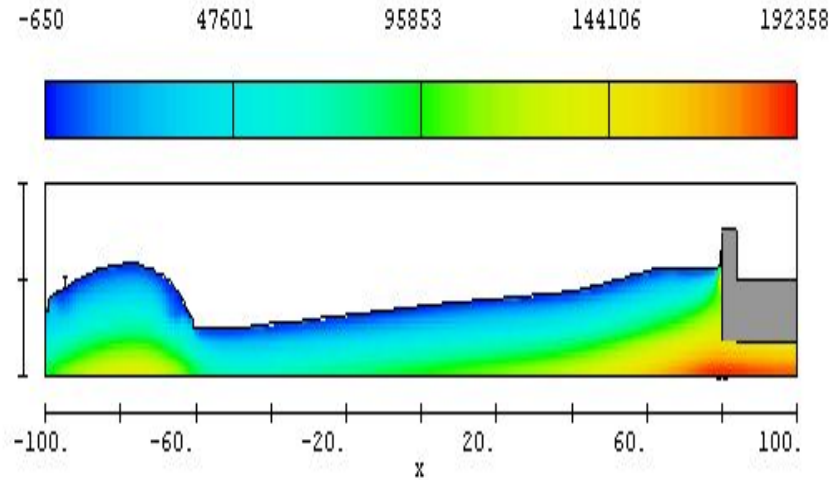
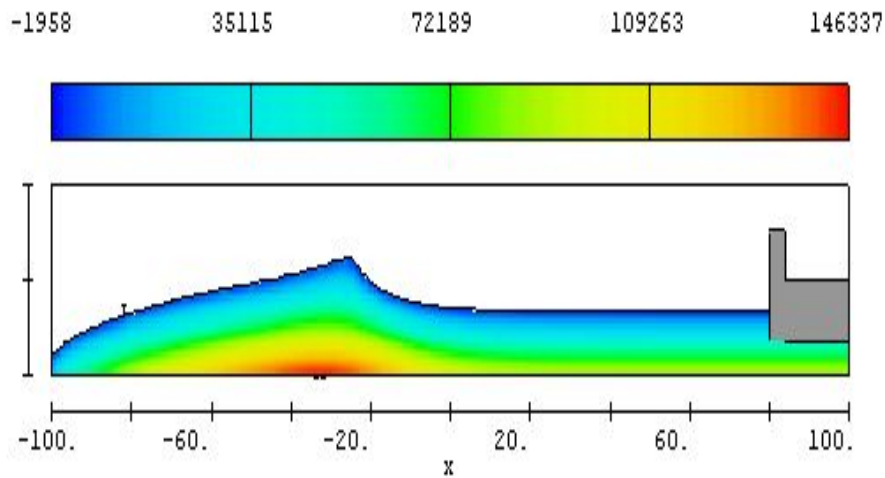
## Пример моделирования заливания палубы:

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



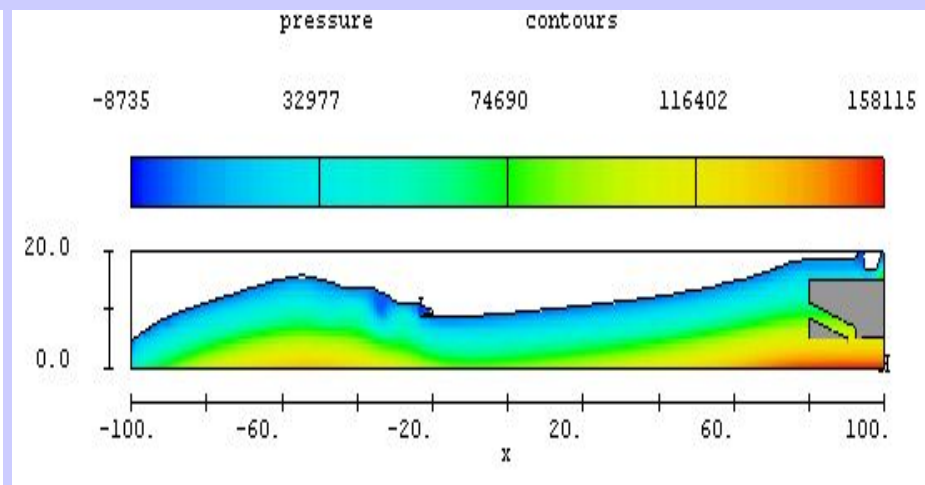
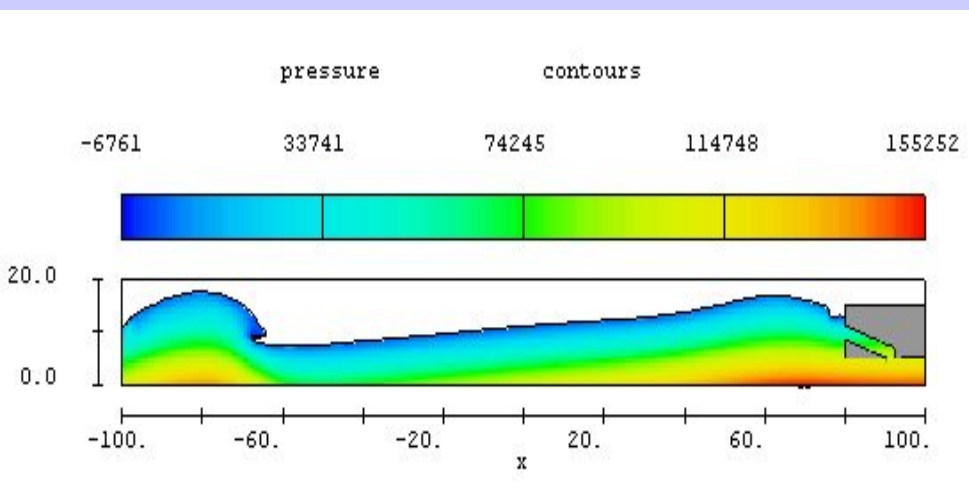
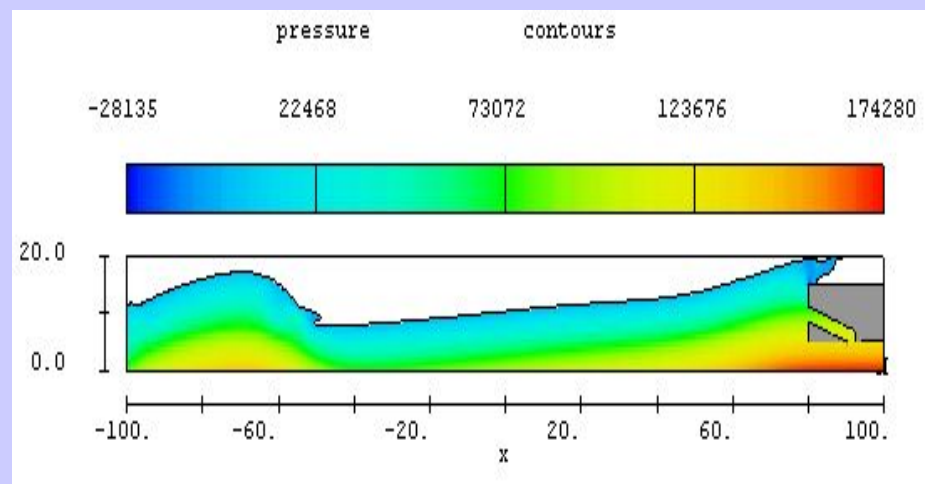
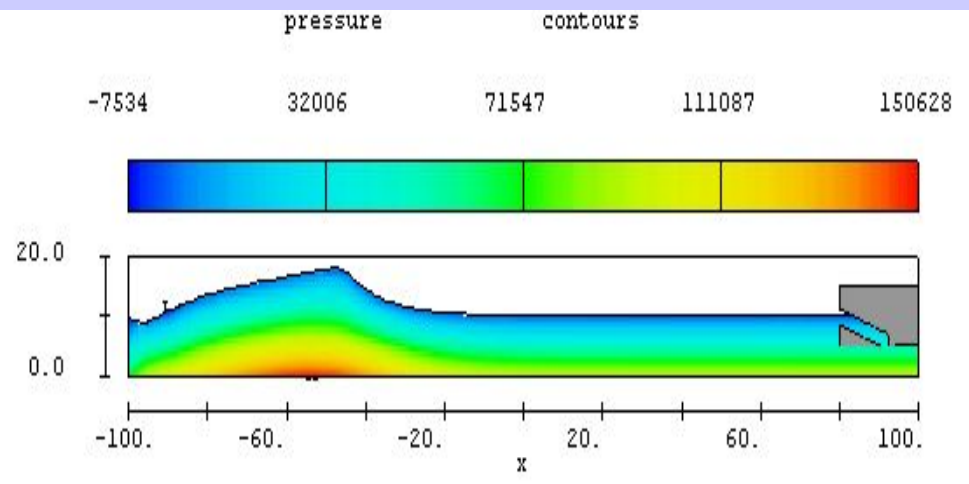
# Гидродинамика модели с волноотбойником

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



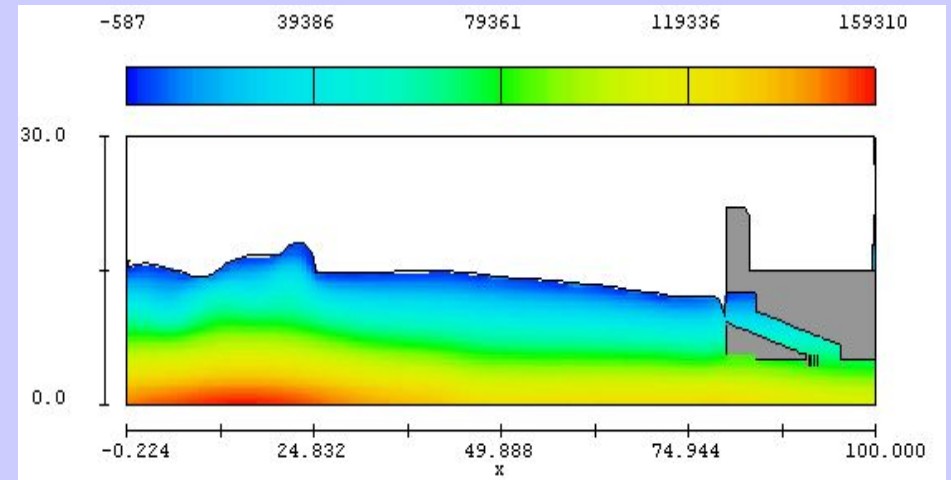
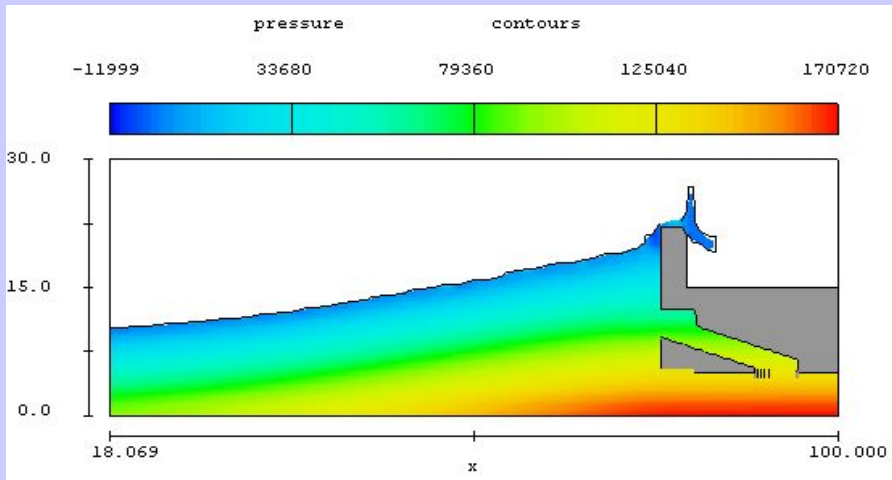
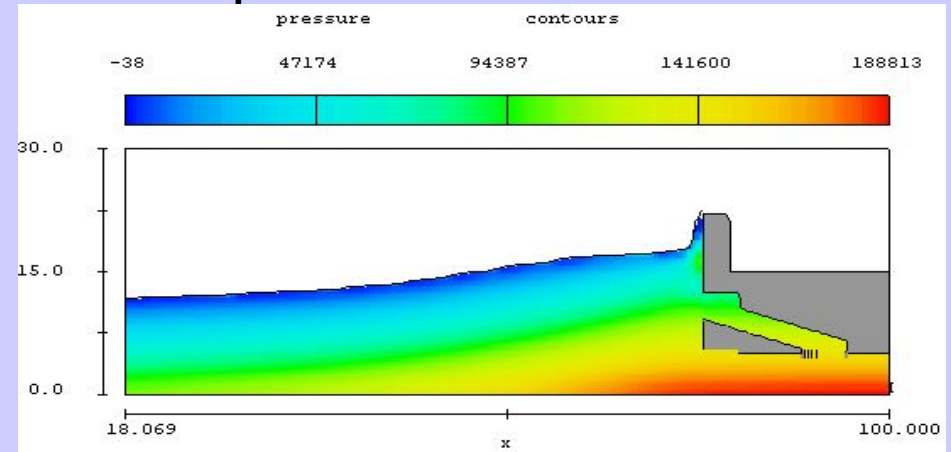
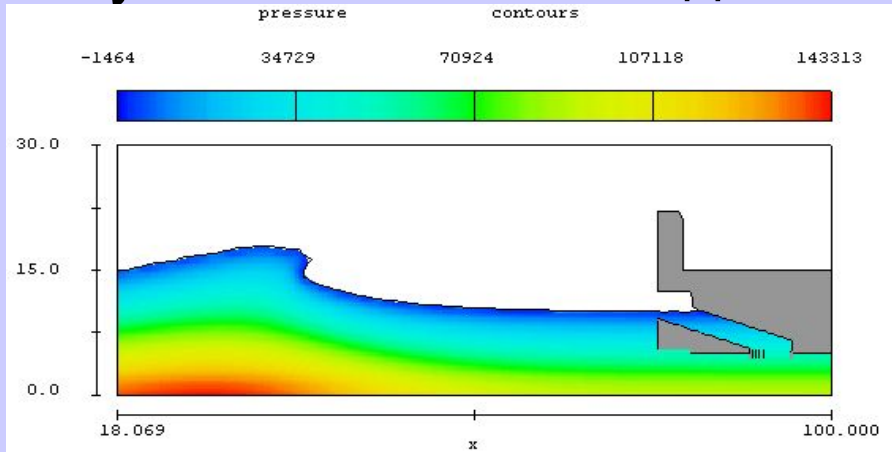


# Гидродинамика модели с отверстиями, которые принимают часть волнового потока на себя.



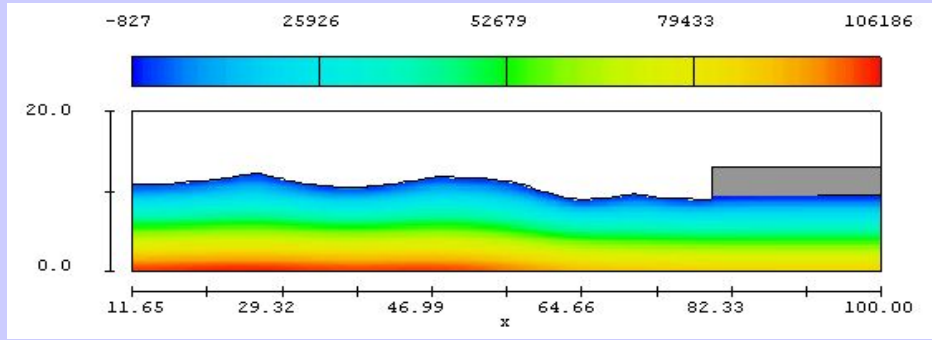
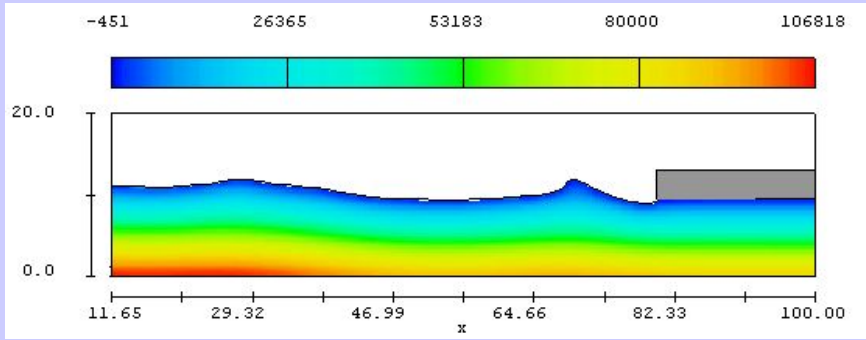
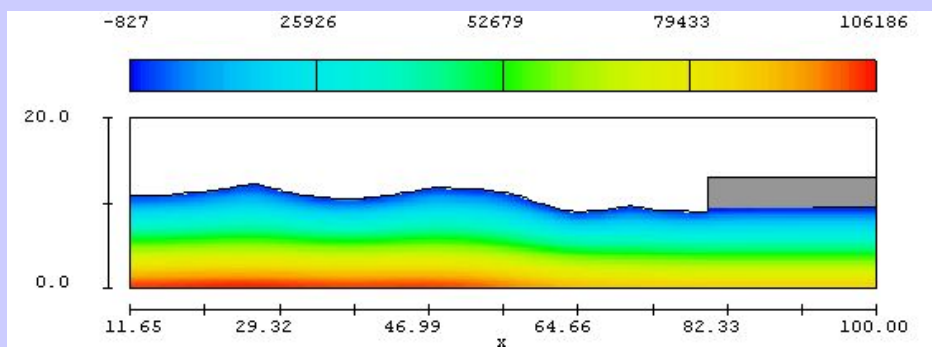
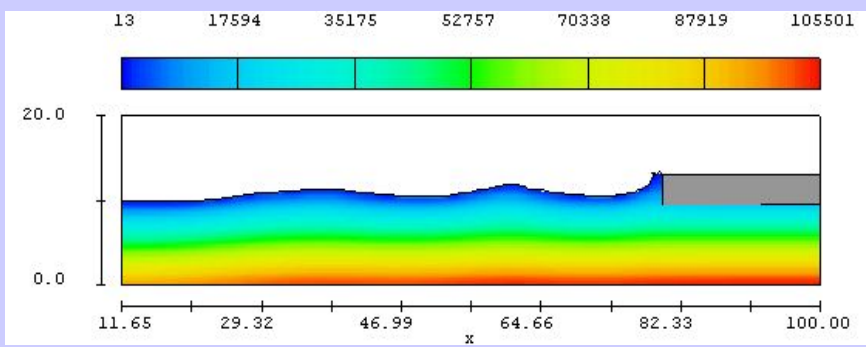
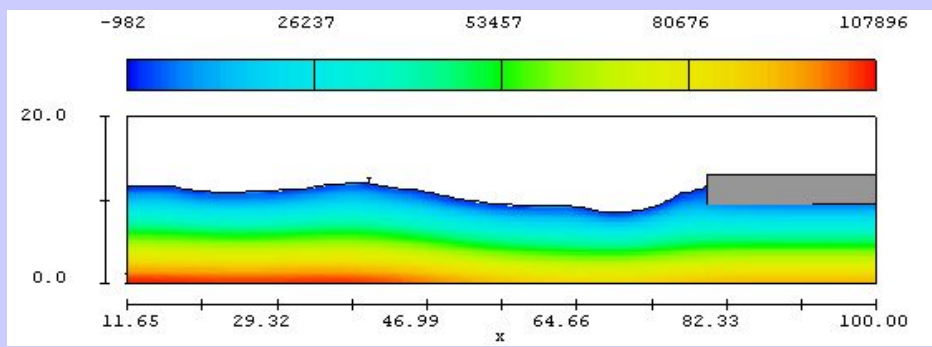
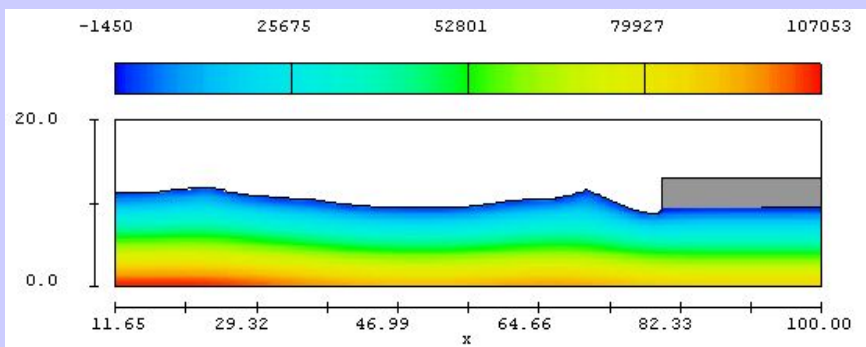
# Гидродинамика модели сложной формы

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



# Результаты расчетов моделей при длине волны $\lambda=18$ м

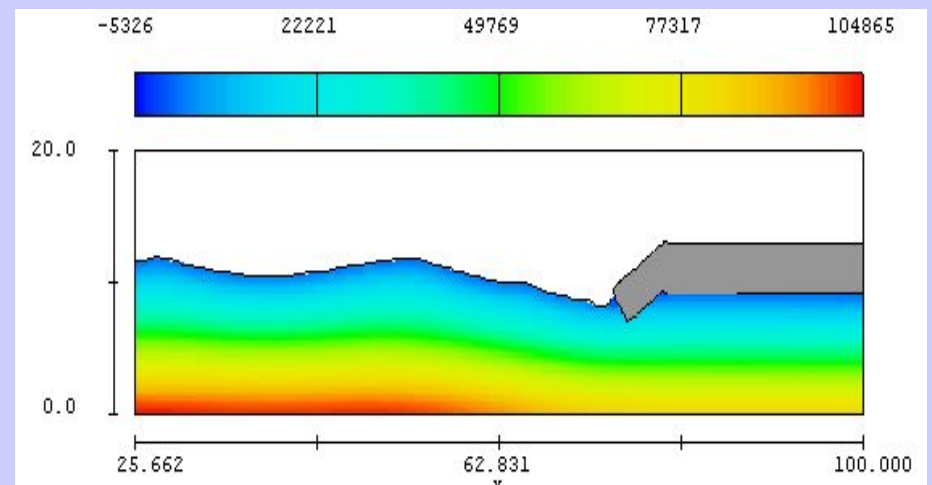
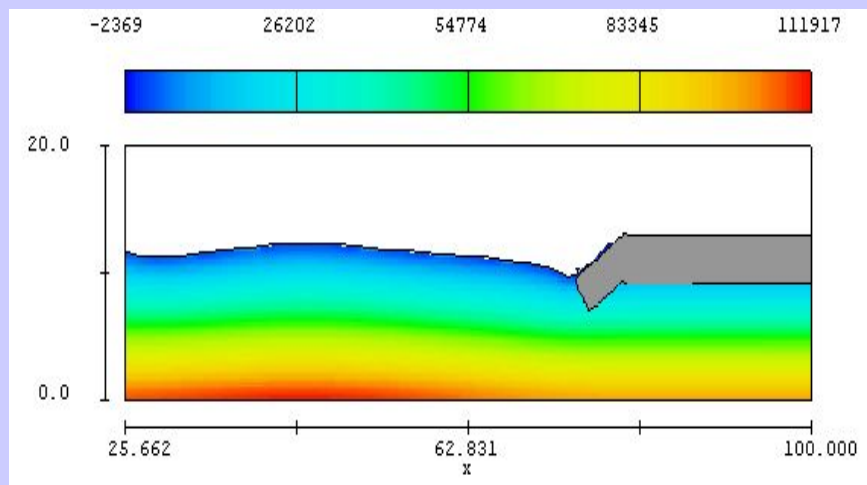
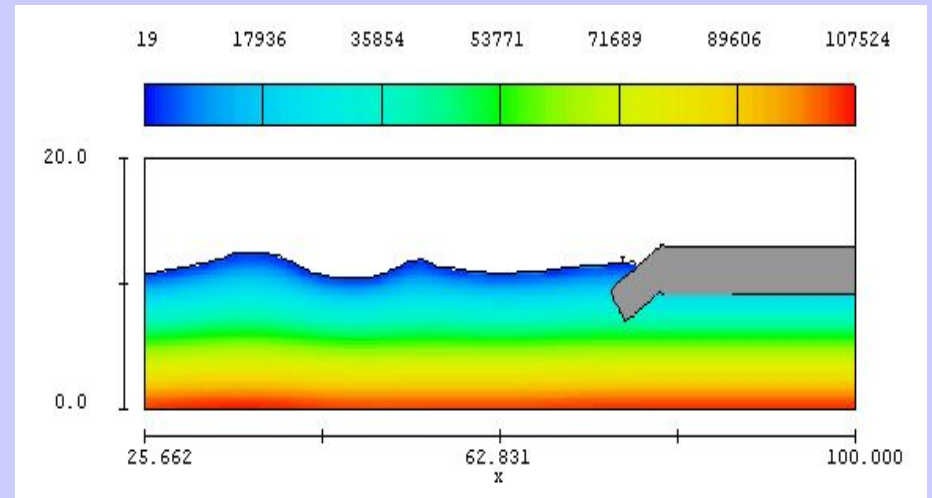
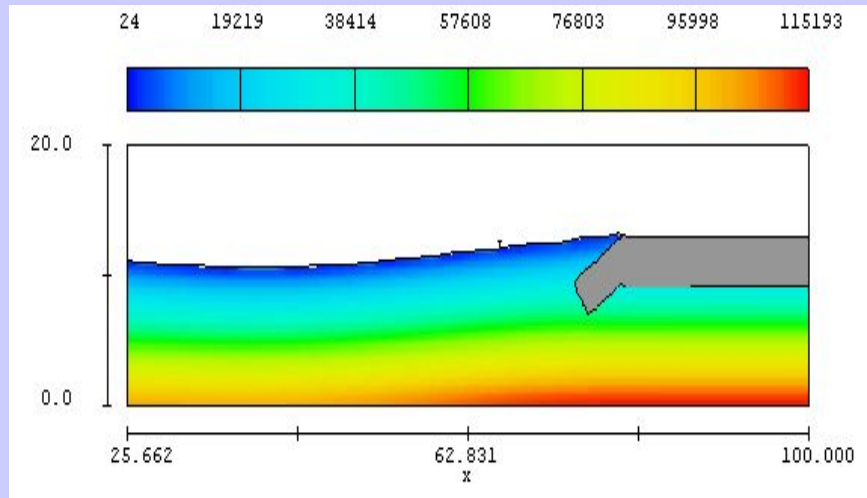
Смоделированное сечение имеет размеры:  
высота борта - 3,5 м, осадка – 0,5 м.



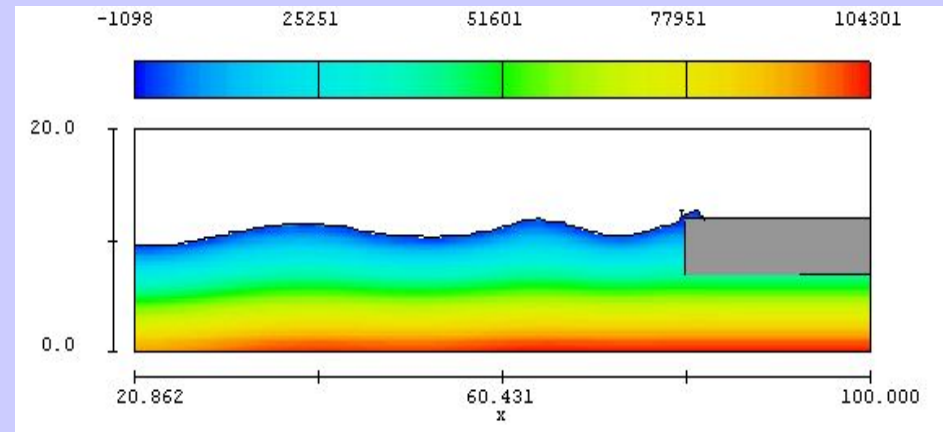
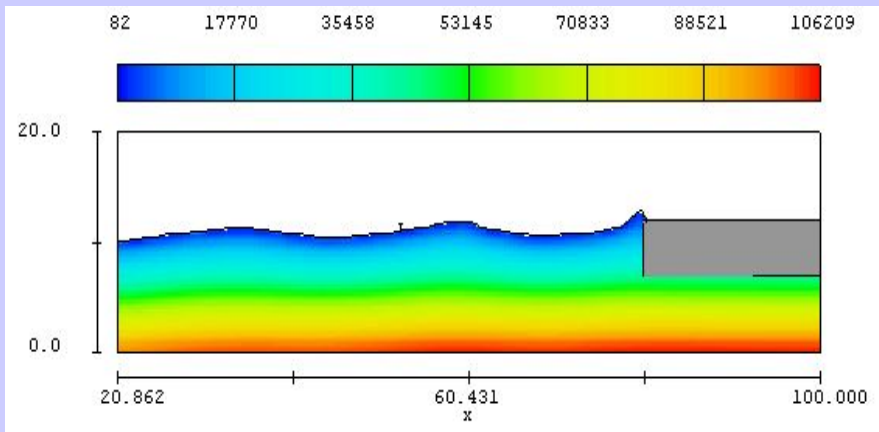
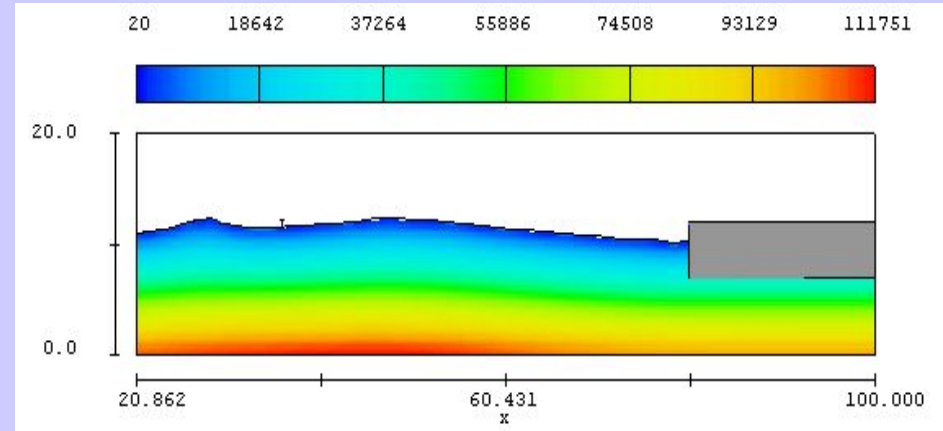
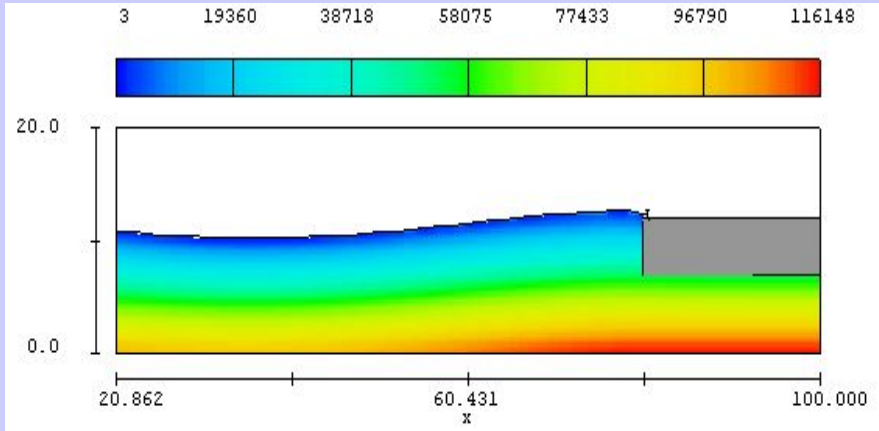
Гидродинамика с взбросом волны у вертикальной стенки

# 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.