

Исследовательское проектирование прибрежных волноэнергетических систем

Трубецкая О.В.

Научный руководитель: к.т.н. С.Д. Чижумов

**ГОУВПО «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический
университет»**

**Факультет энергетики, транспорта
и морских технологий**

Комсомольск на Амуре, 2011

Актуальность

Стоимость невозобновляемых источников энергии (угля, нефти и газа) растет, а запасы сокращаются.

Негативные экологические последствия изменения климата связаны с ростом выбросов углекислого газа при сжигании этих веществ на ТЭС. Проблемы безопасности и утилизации радиоактивных отходов есть на АЭС, известны многочисленные случаи аварий, связанные с реакторами. Строительство и эксплуатация ГЭС и АЭС сопряжены с большими затратами и рисками.

Мировая общественность обратила свое внимание на экологически чистые источники энергии. Основной недостаток нетрадиционных возобновляемых источников энергии - низкие плотности энергии. Так, для ветровых, солнечных, геотермальных установок характерны плотности энергии менее 1 кВт/м^2 .

Волновая энергия обладает более высокой по сравнению с ветром и солнцем плотностью энергии. Морские волны накапливают в себе энергию ветра. Энергия волн имеет один из самых высоких показателей по практическому коэффициенту полезного действия среди нетрадиционных источников энергии.

На ДВ целесообразно развивать волновую энергетику в районах, не подключенных к общей электрической сети, а это 70% территории края. Более 90% электроэнергии Камчатской и Сахалинской областей производится на завозном мазуте. В связи с большими транспортными расходами стоимость выработки электроэнергии здесь превышает среднемировой показатель в 5-6 раз.

Цель работы и основные задачи

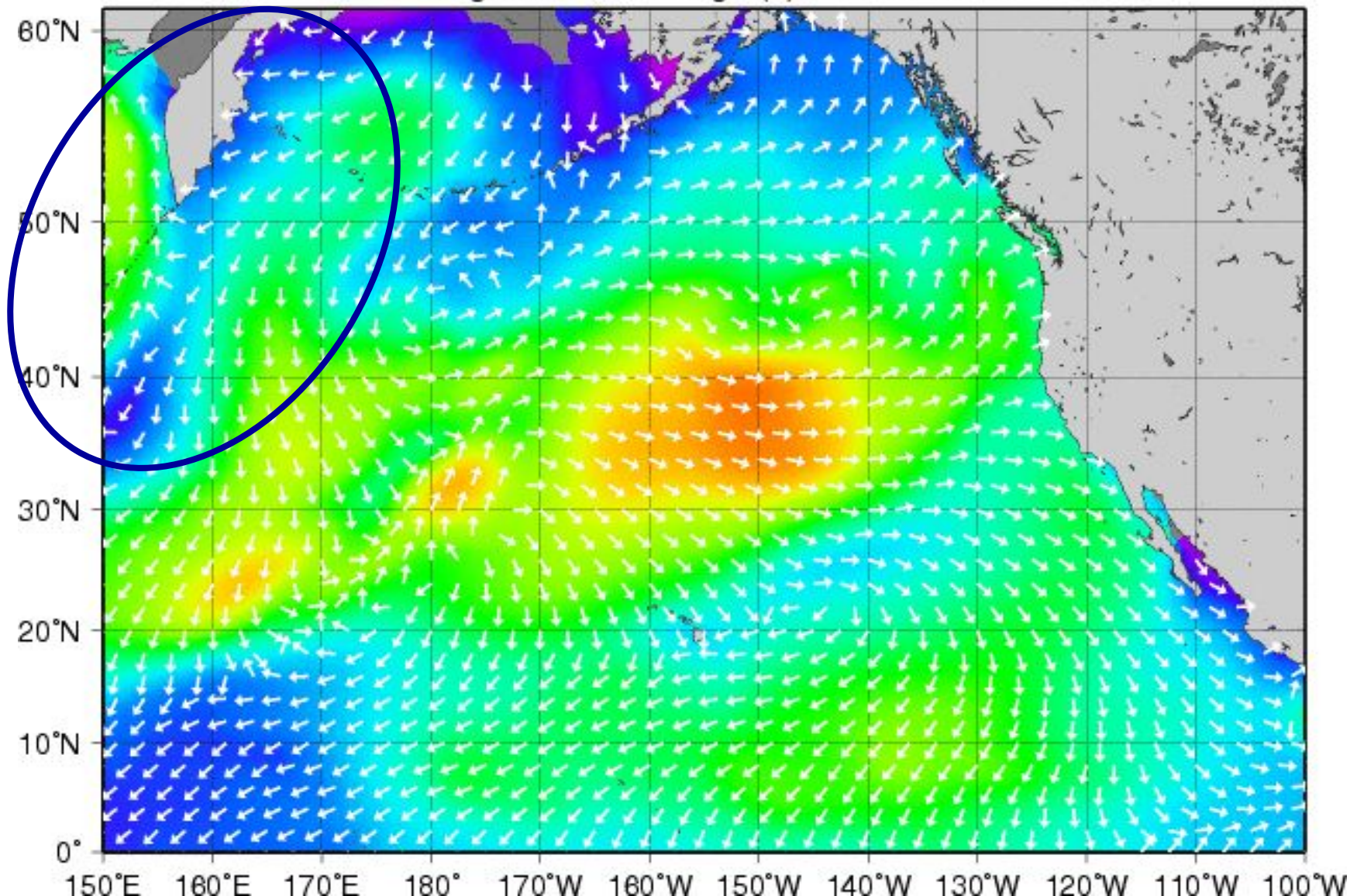
Цель работы: выполнить обоснование возможности применения ВлЭС на побережье ДВ и доказать их эффективность на основе численного моделирования.

Задачи:

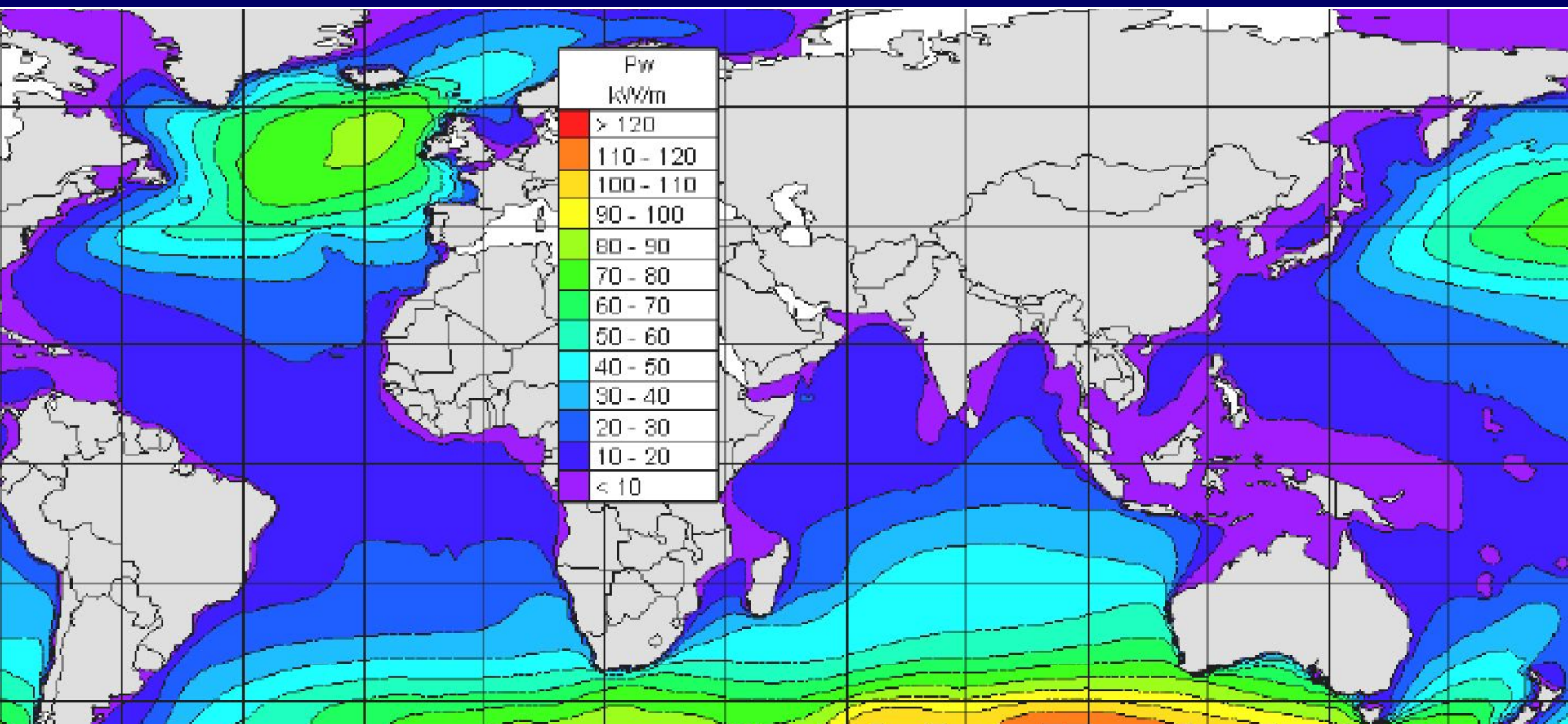
- Выполнить анализ волновых режимов прибрежных акваторий ДВ.
- Выполнить обзорный анализ проектов и выбрать схему ВлЭС.
- Создать компьютерные модели и выполнить анализ гидродинамики ВлЭС с различным конструктивным исполнением.
- На основе гидродинамического анализа обосновать принципиальную схему и определить пути дальнейшего совершенствования ВлЭС.
- Выполнить экономическое обоснование и разработать план дальнейшей реализации проекта.

Высота волн (в футах) в Тихом океане в конце февраля 2010 г

NOAA/NCEP Feb 26 2010 00z 00 hr fcst



Среднегодовая мощность волнения (кВт/м) в разных районах мира



Параметры волнения у побережья ДВ России:

Район	Средняя высота, м	Ср. мощность, кВт/м	Наибольшая высота, м
Берингово море	2	40	15
Курилы	1,5 - 2	40	20
Охотское море	1,5	20 - 30	8
Японское море	1	10 - 20	5

Анализ информационных источников

В 1935 г. К. Э. Циолковский опубликовал статью «Волнолом и извлечение энергии из морских волн»*, в которой описал принципиальные схемы трех устройств - аналогов будущих наиболее известных устройств Масуды, Кайзера и Коккерелла.

К. Э. Циолковский писал: «Извлекая через посредство машин энергию движения из волн, мы ослабляем их колебания и тем самым отчасти укрощаем. ... Эти двигатели могут заменить мол и явиться искусственной гаванью там, где ее нет».

В 2001 г. Международное Энергетическое Агенство (IEA) разработало соглашение по океанским энергетическим системам (IEA-OES) с целью создания к 2020 году экономически эффективных и экологически чистых систем использования энергии морских волн и течений.

В этой программе участвуют: **США, Канада, ЕЭС, Великобритания, Германия, Норвегия, Португалия, Дания, Ирландия, Бельгия, Япония, Мексика.** Этими странами, а также Австралией и Китаем реализованы и успешно эксплуатируются волновые и приливные электростанции разных конструкций.

* Циолковский К. Э. Собр. соч., т. 4, М., 1964, с. 362—364.

В процессе анализа информационных источников были рассмотрены около двух десятков реализованных и перспективных проектов.



Основные принципы преобразования энергии морских волн в электроэнергию

1. преобразование процесса вытеснения воздуха водой во вращение турбины - осциллирующий водяной столб (OWC: Oscillating Water Column) с воздушной турбиной Уэллса;
2. преобразование горизонтальных движений поршней гидравлических насосов во вращательное движение электрогенераторов (установка PELAMIS);
3. преобразование вертикальных движений поршней гидравлических насосов под воздействием перепада давления воды во вращательное движение электрогенераторов (Archimedes Wave Swing — AWS)
4. преобразование потенциальной энергии путем пропускания жидкости через турбину в электроэнергию TAPCHAN

Pelamis Wave Power Ltd

**МОЩНОСТЬ
2,25 МВт**

Качающиеся на
волнах
генераторы-змеи
(в диаметре 3,5 м,
а в длину – 140 м)



«Осциллирующий водяной столб»

OWC: Oscillating Water Column

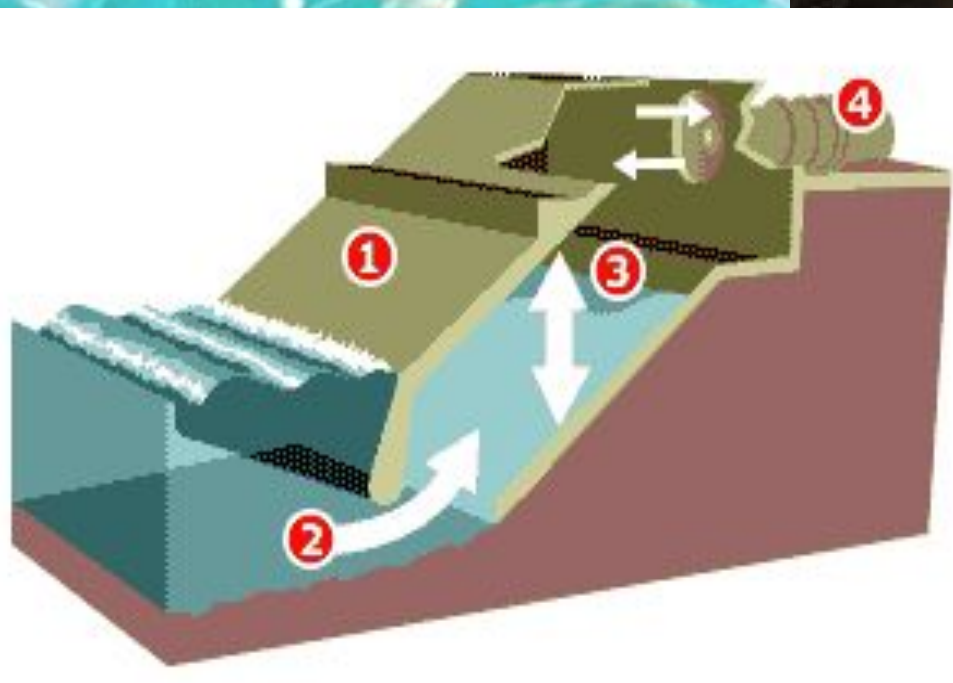
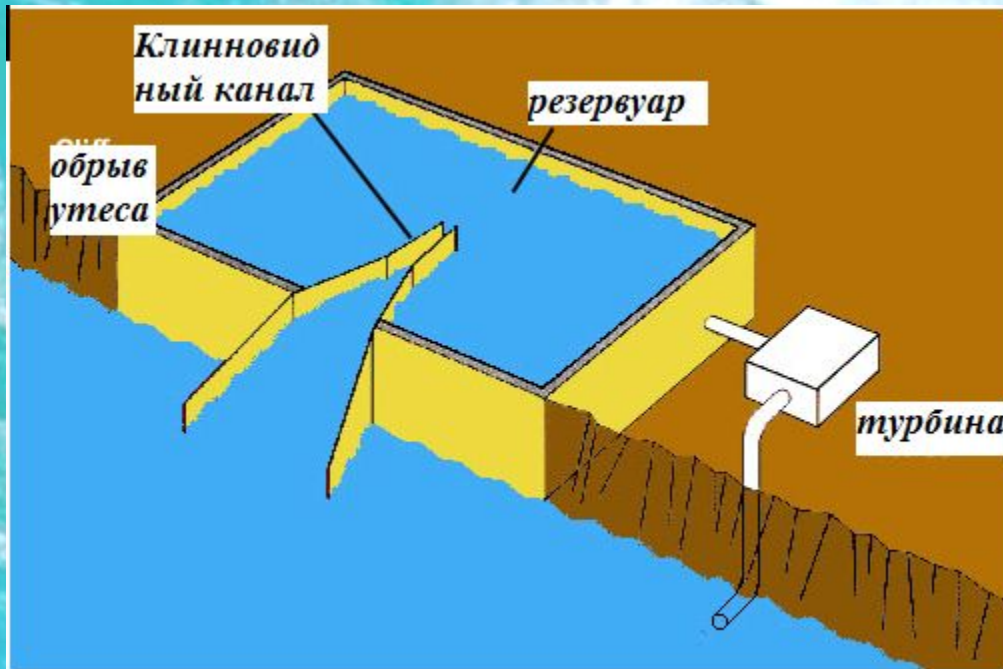


Схема установки OWC

1 – передняя стенка установлена в обрыв скалы; 2 – поступающая волна вытесняет воздух; 3 – сжатие воздуха в камере; 4 – вращение турбины.

не может обеспечить высокий к.п. д., так как большая часть полезной работы теряется при сжатии воздуха. При этом практически не используется работа гидродинамических сил. Энергию волны совершенно неэффективно преобразуют с большими потерями в энергию сжатого на 1-20 % воздуха.

ТАРСНАН



на берегу устанавливают сужающийся канал со стенками, прибойная волна входит в широкую часть канала и забрасывается вверх, в резервуар выше уровня воды в море. Создаётся запас потенциальной энергии, которую преобразуют в электроэнергию путём пропускания воды через низкоскоростную турбину

ТАРСНАН требует больших затрат на постройку. Получаемые мощности невысоки и, кроме того, применение данного метода ограничивается регионами, где приливы незначительны.

«Архимедово волновое качание» (Archimedes Wave Swing — AWS)

Archimedes Wave Swing Machines



AWS - цилиндр
диаметром 12 и высотой 30 м.
Вес буя 800 т, на глубине 50 м
и способен вырабатывать
энергию для 500 домов,
то есть выдаёт
до 12 ГВт*ч в год.



Некоторые результаты анализа информационных источников

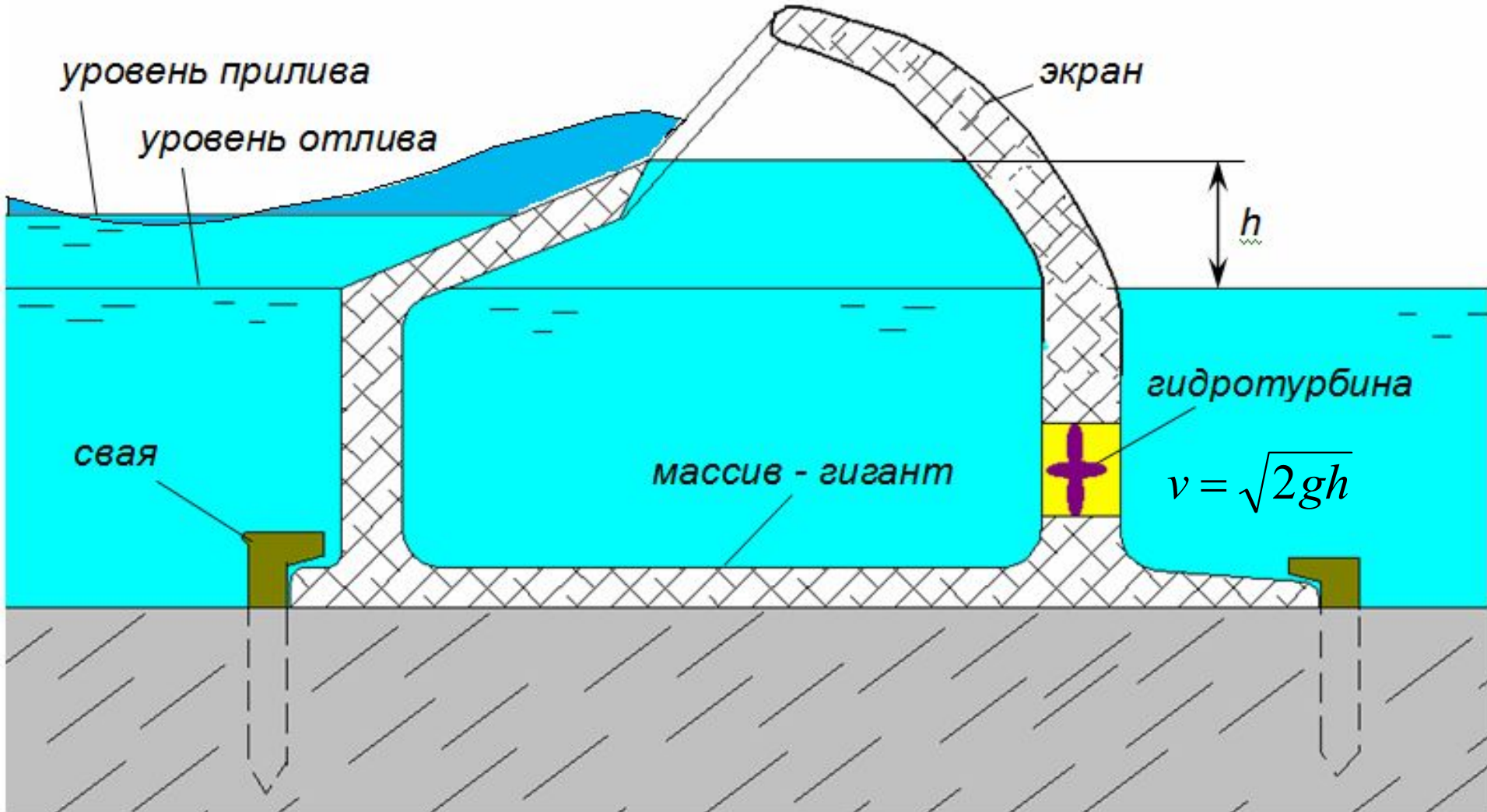
- Встречается предвзятое мнение об экономической неэффективности ВлЭС на основе ряда примеров неудачного опыта их создания и эксплуатации.
- Причиной неудачных проектов является их внедрение без тщательного анализа эффективности и без расчётной оптимизации систем:
- Выпрямитель Рассела (в том виде, как он описан в работах) недостаточно проработан – размеры его элементов необходимо оптимизировать;
- Точечные поплавковые преобразователи имеют высокий к.п.д., но маломощны, так как они не «собирают» рассеянную по большой площади энергию волн. К тому же их подвижные элементы и якорные системы недостаточно надёжны при воздействии штормовых волн.

Следовательно, основная задача при создании эффективных ВлЭС состоит в оптимизации их параметров с учётом реальных условий на месте эксплуатации. Для этого необходим их анализ на основе физических и компьютерных экспериментов.

Один из вариантов ВлЭС представляет собой сооружение в виде железобетонных массивов – гигантов, устанавливаемых в зоне прибойных волн на глубинах до 5-10 м. Это позволяет, с одной стороны, уменьшить размеры сооружений, а с другой - более надёжно связать их с грунтом. Прибойные волны имеют большую крутизну, и их энергия более концентрирована по глубине и длине волны.

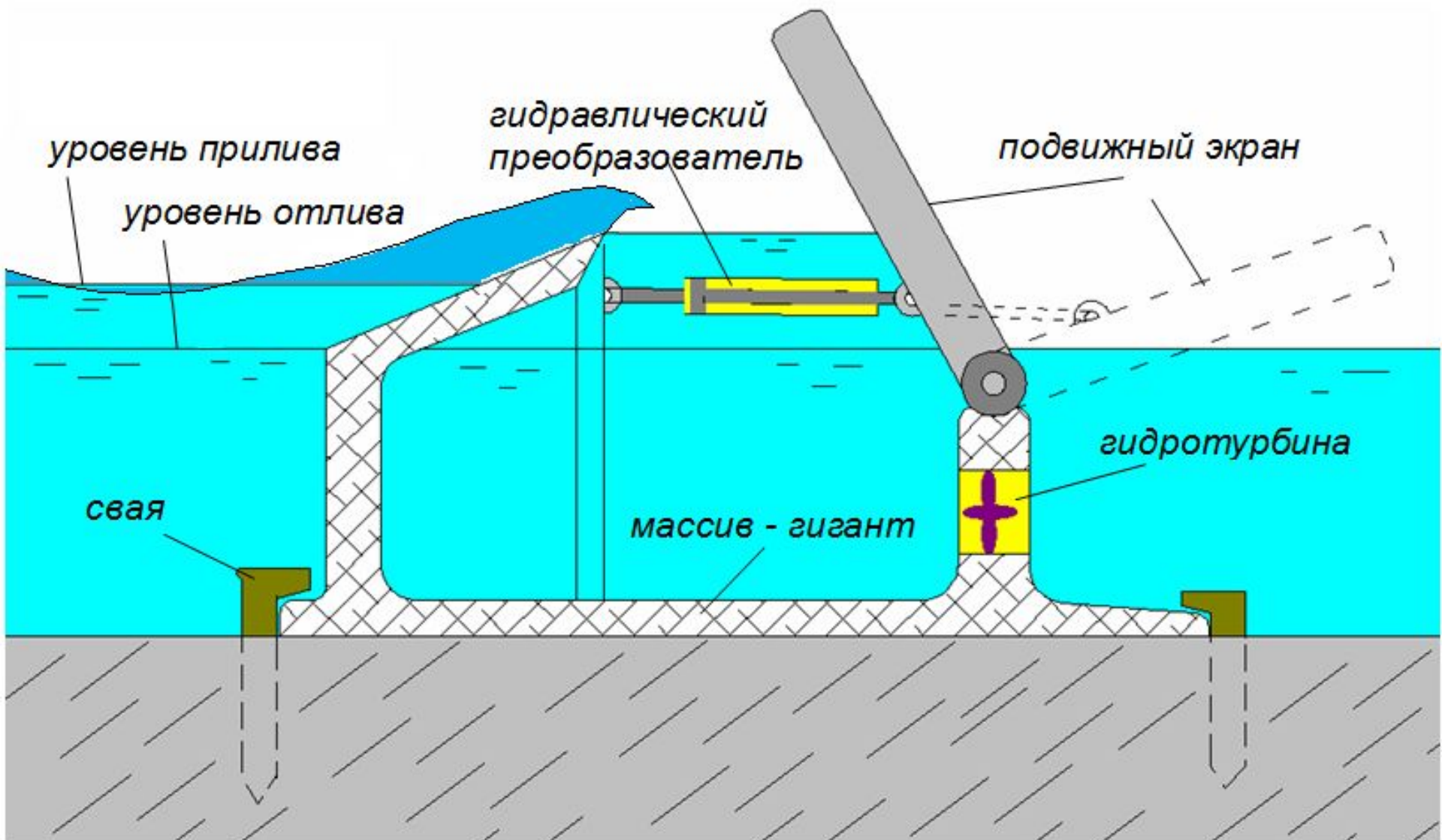
Варианты конструкций ВлЭС

Простой тип ВлЭС с низконапорными гидротурбинами



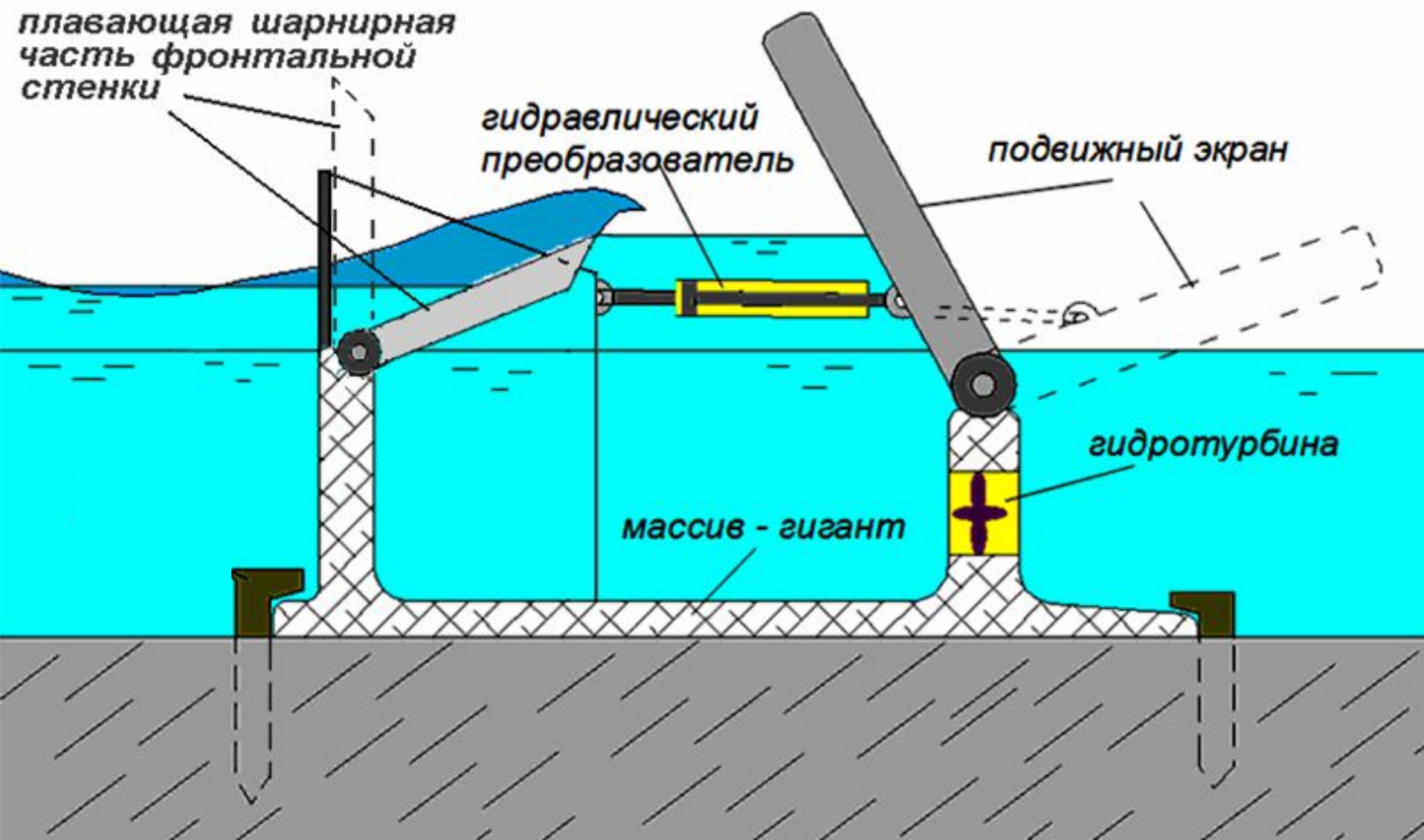
Варианты конструкций ВлЭС

ВлЭС с двумя типами преобразователей энергии



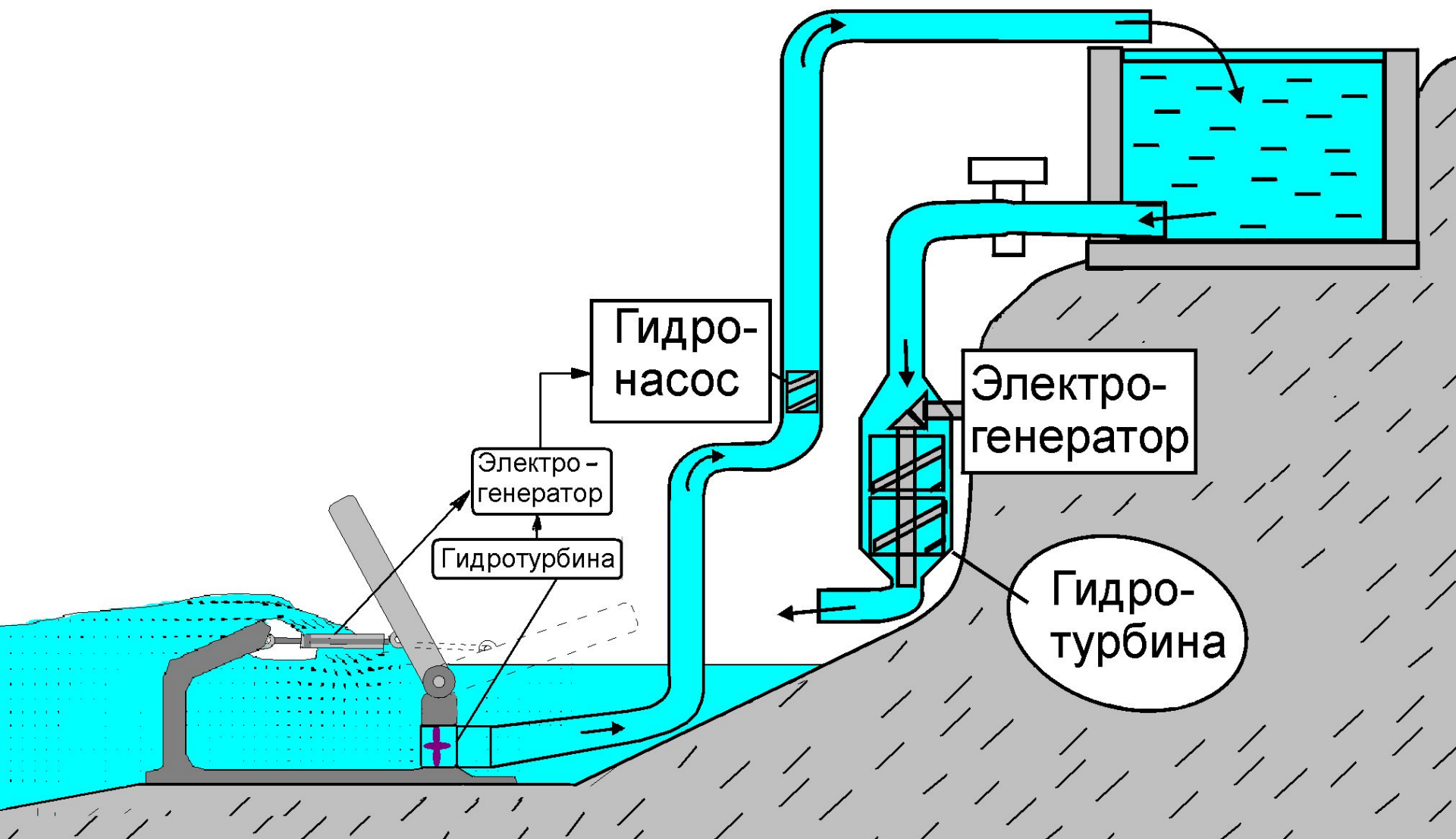
Предлагаемые конструктивные решения ВлЭС

ВлЭС с двумя типами преобразователей энергии



Проблема накопления энергии

Гидроаккумулирующая электростанция

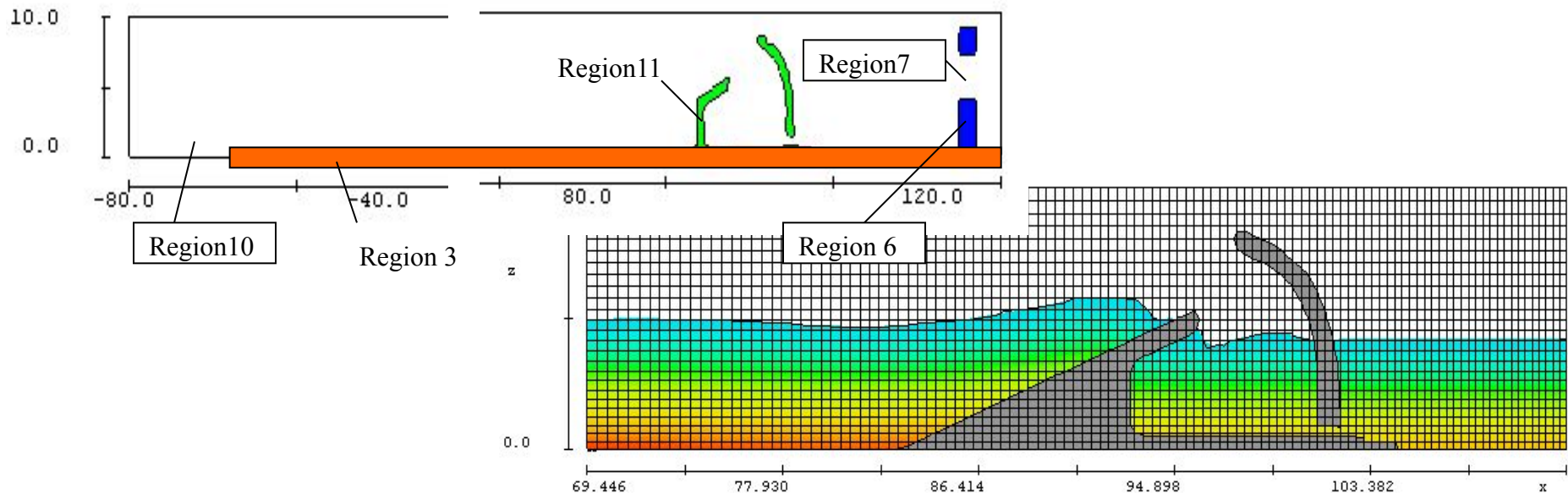
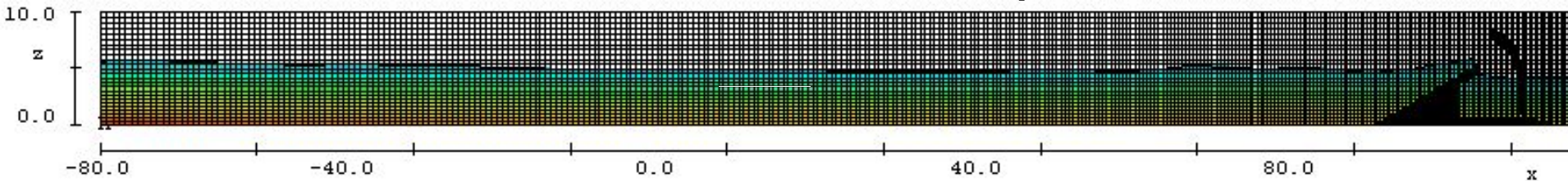


Анализ гидродинамики

Расчётная модель: Жидкость невязкая, несжимаемая.
Влиянием воздуха пренебрегается.

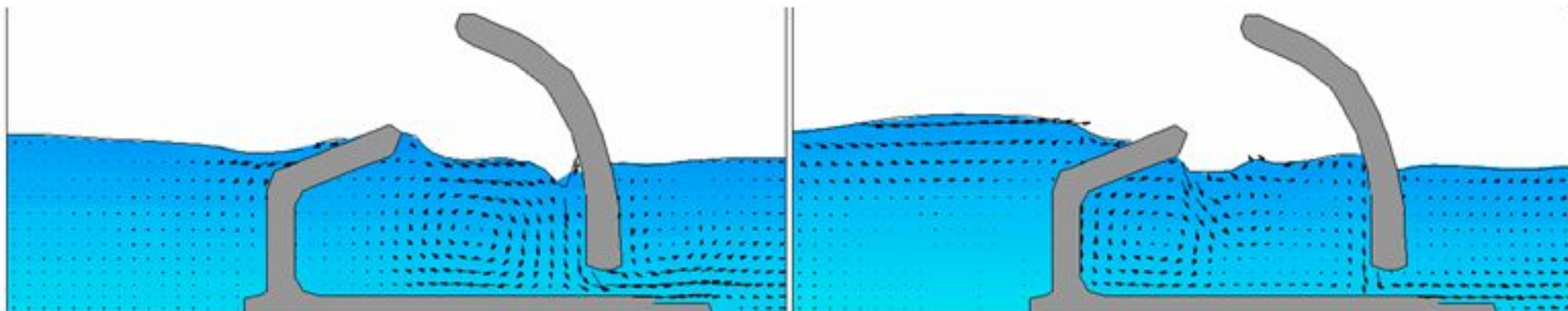
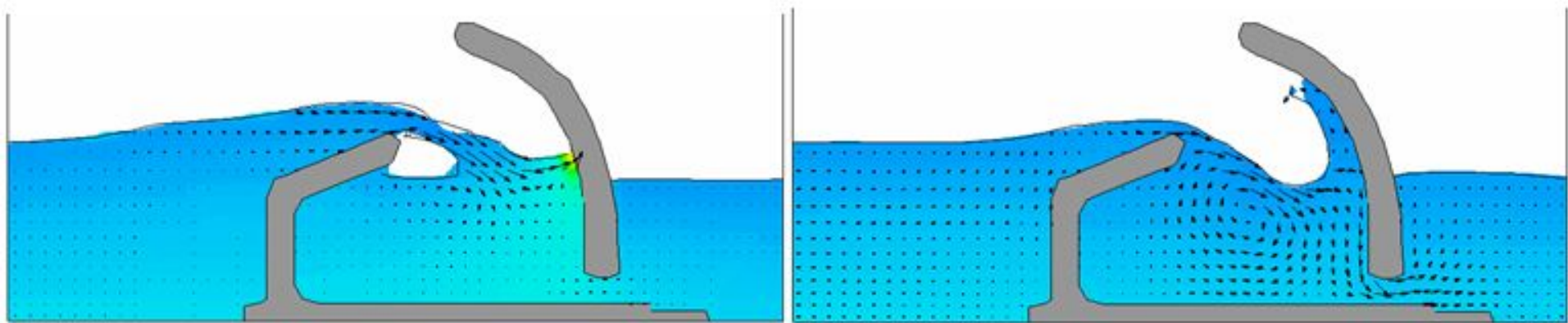
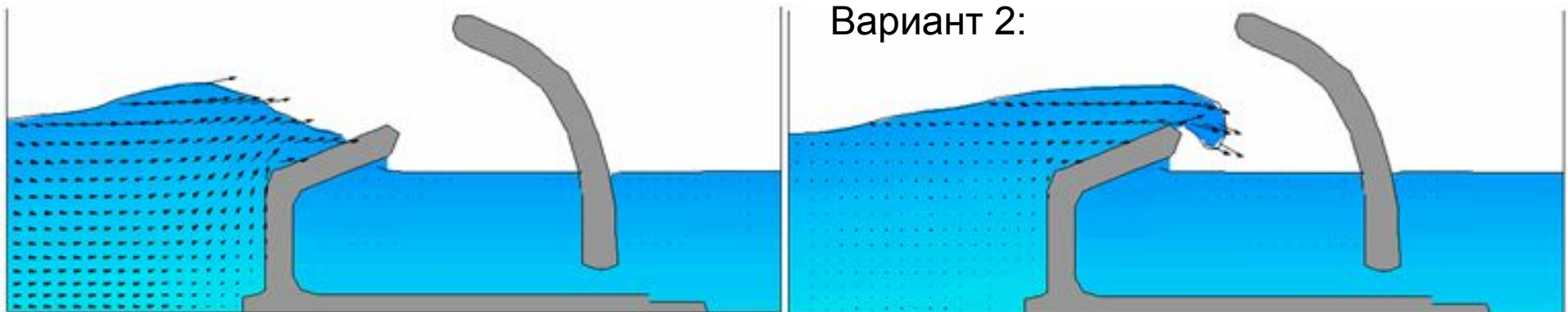
Граничные условия: $x = -80$ м – $v_x = V_x \cdot \sin(\omega t)$ (условный волнопродуктор);
 $x = 120$ м – условие отсутствия движения; $y = 0$ м; $y = 1$ м – условия симметрии;
 $z = 0$ м – твёрдое дно

Расчётная сетка компьютерной модели:

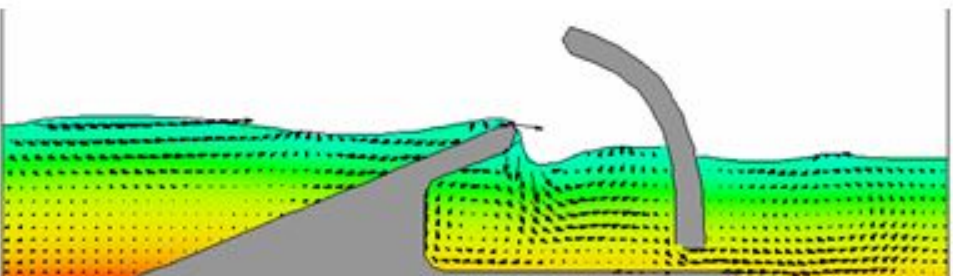
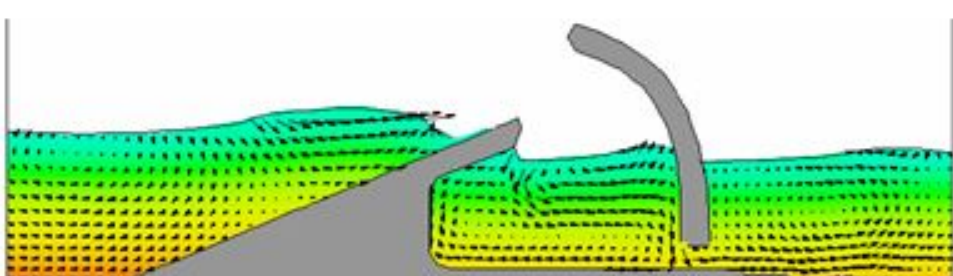
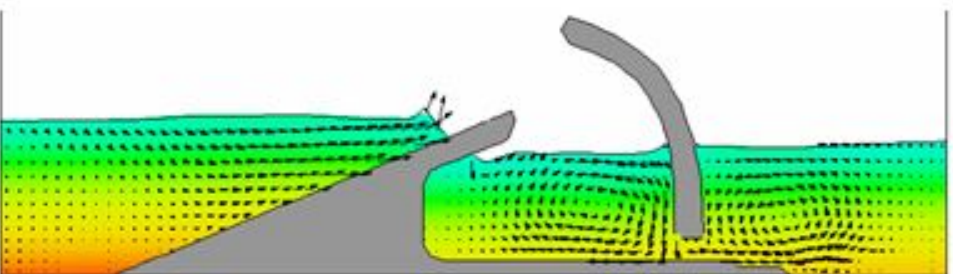
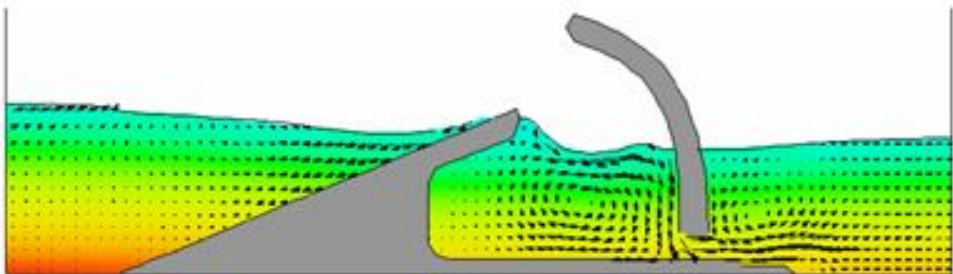
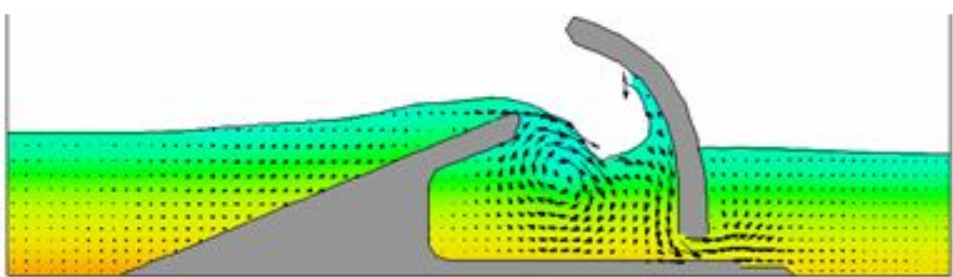
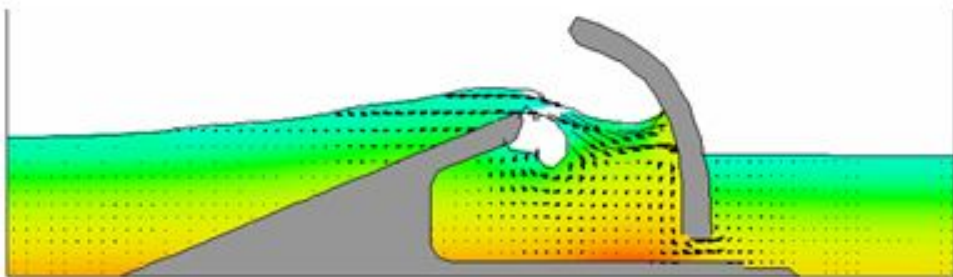
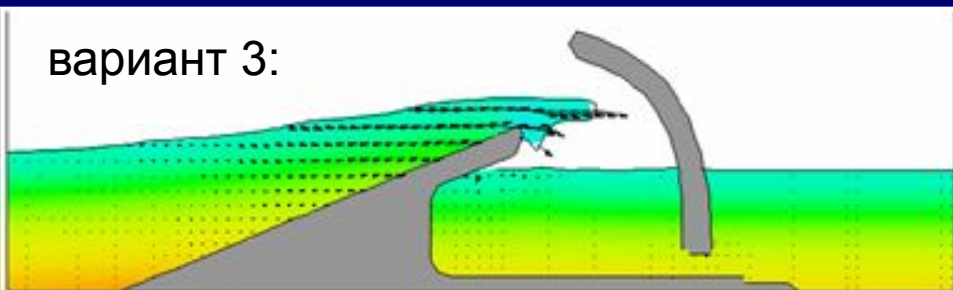
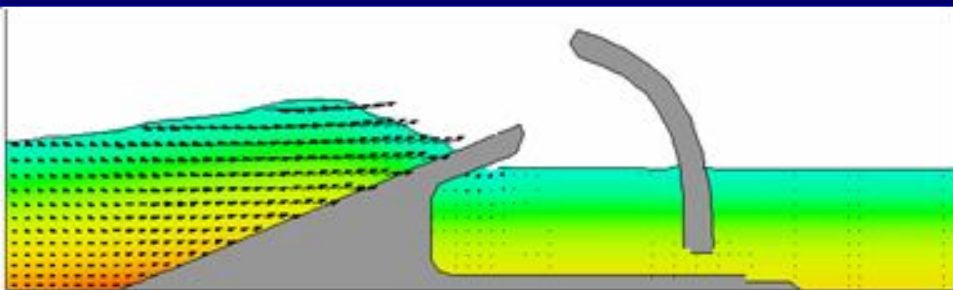


Анализ гидродинамики

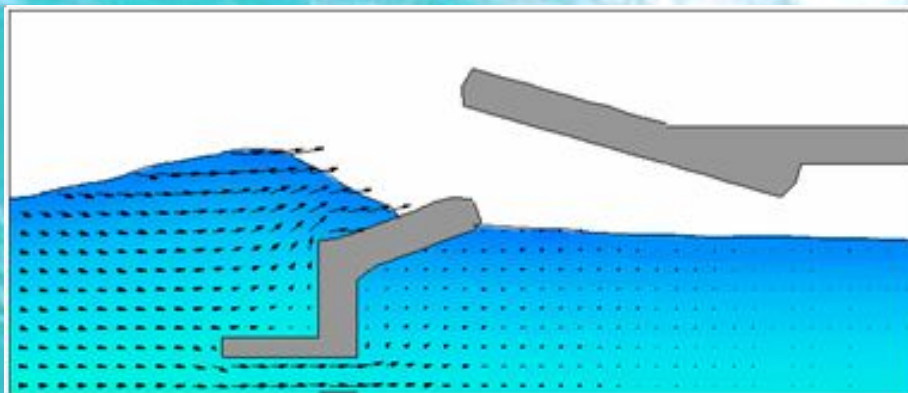
Вариант 2:



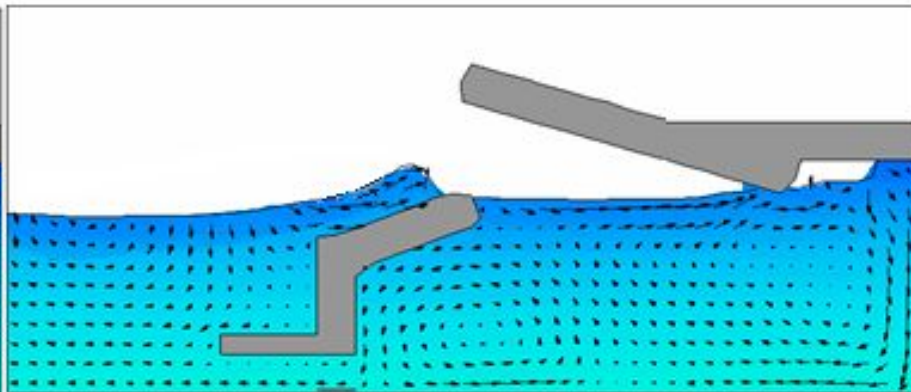
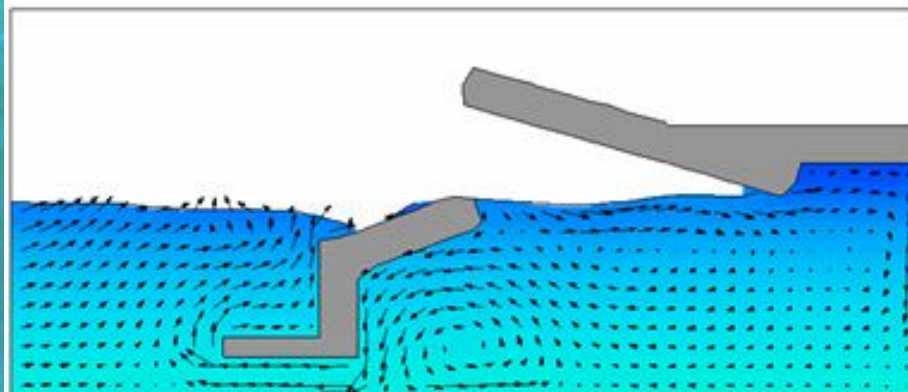
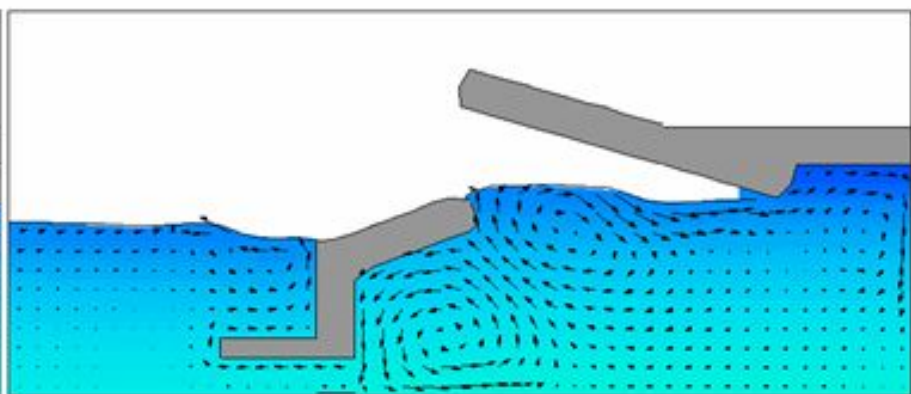
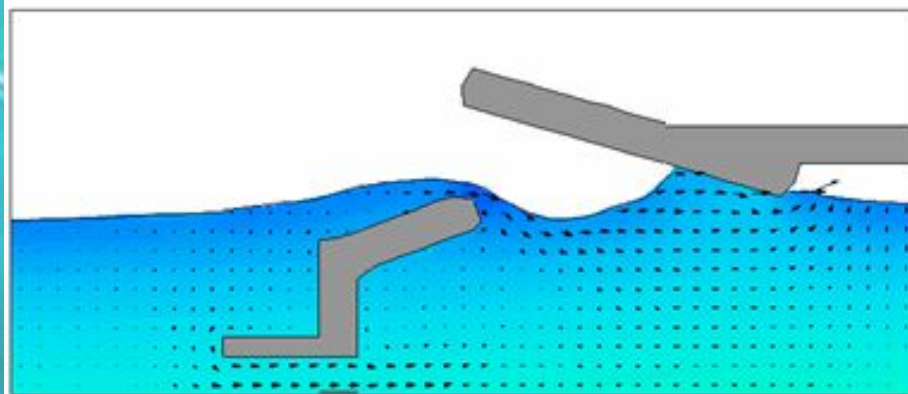
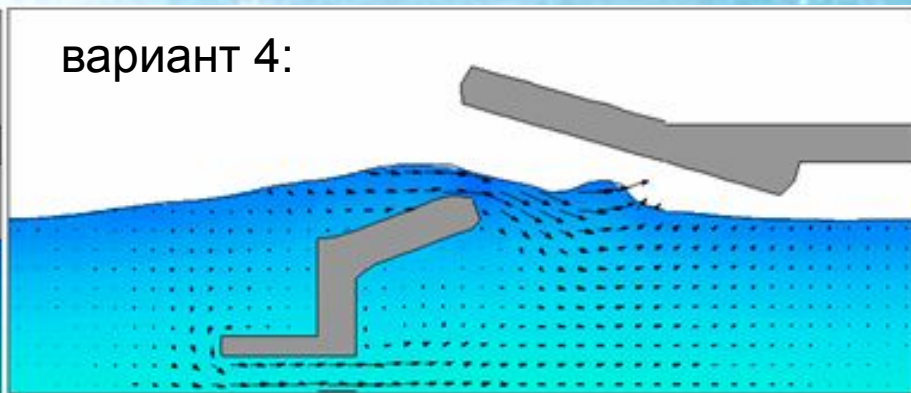
Анализ гидродинамики



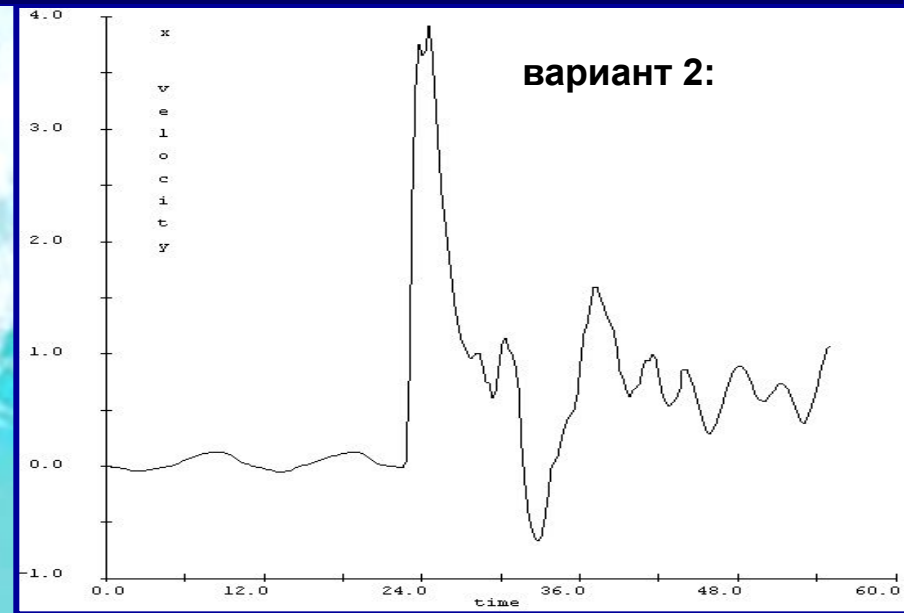
Анализ гидродинамики



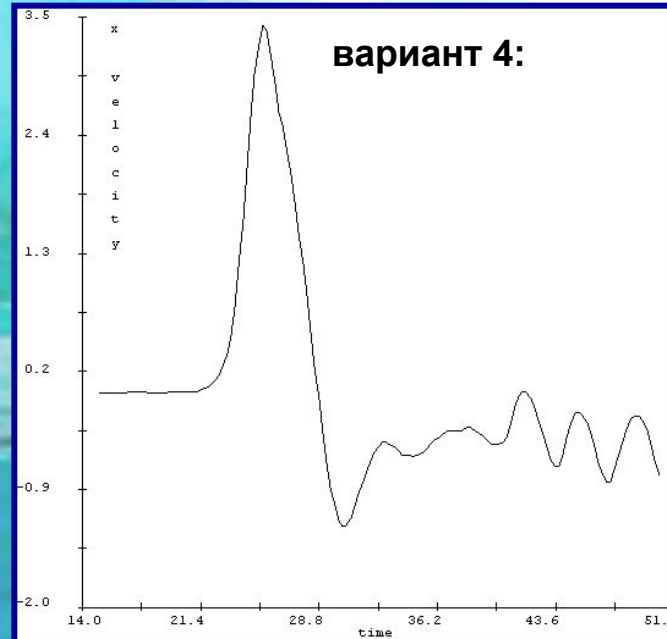
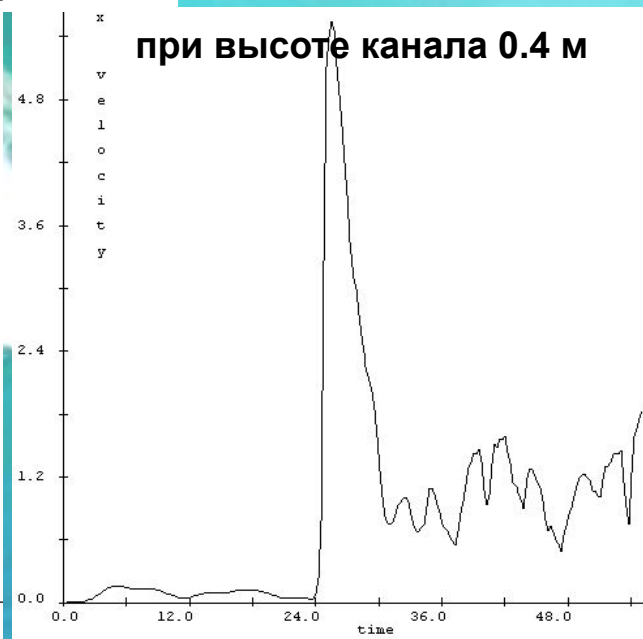
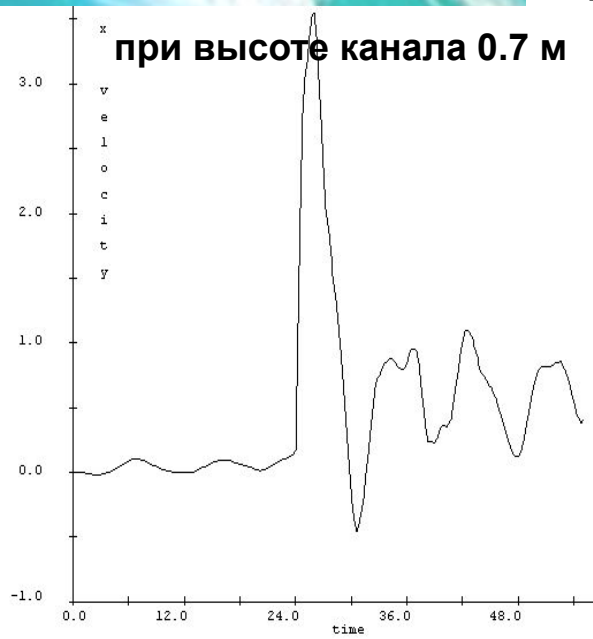
вариант 4:



Скорости течения в подводном канале

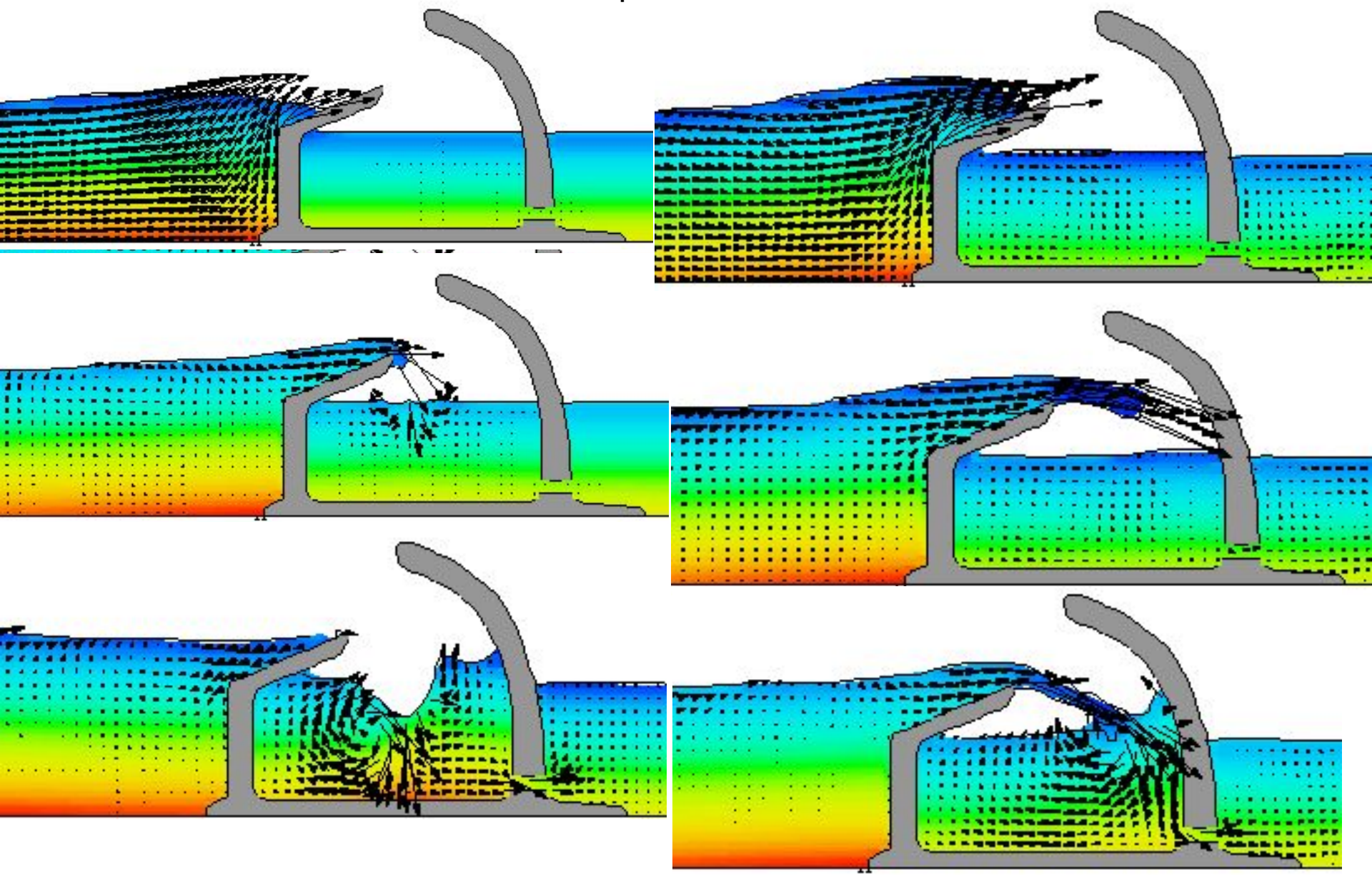


вариант 3:



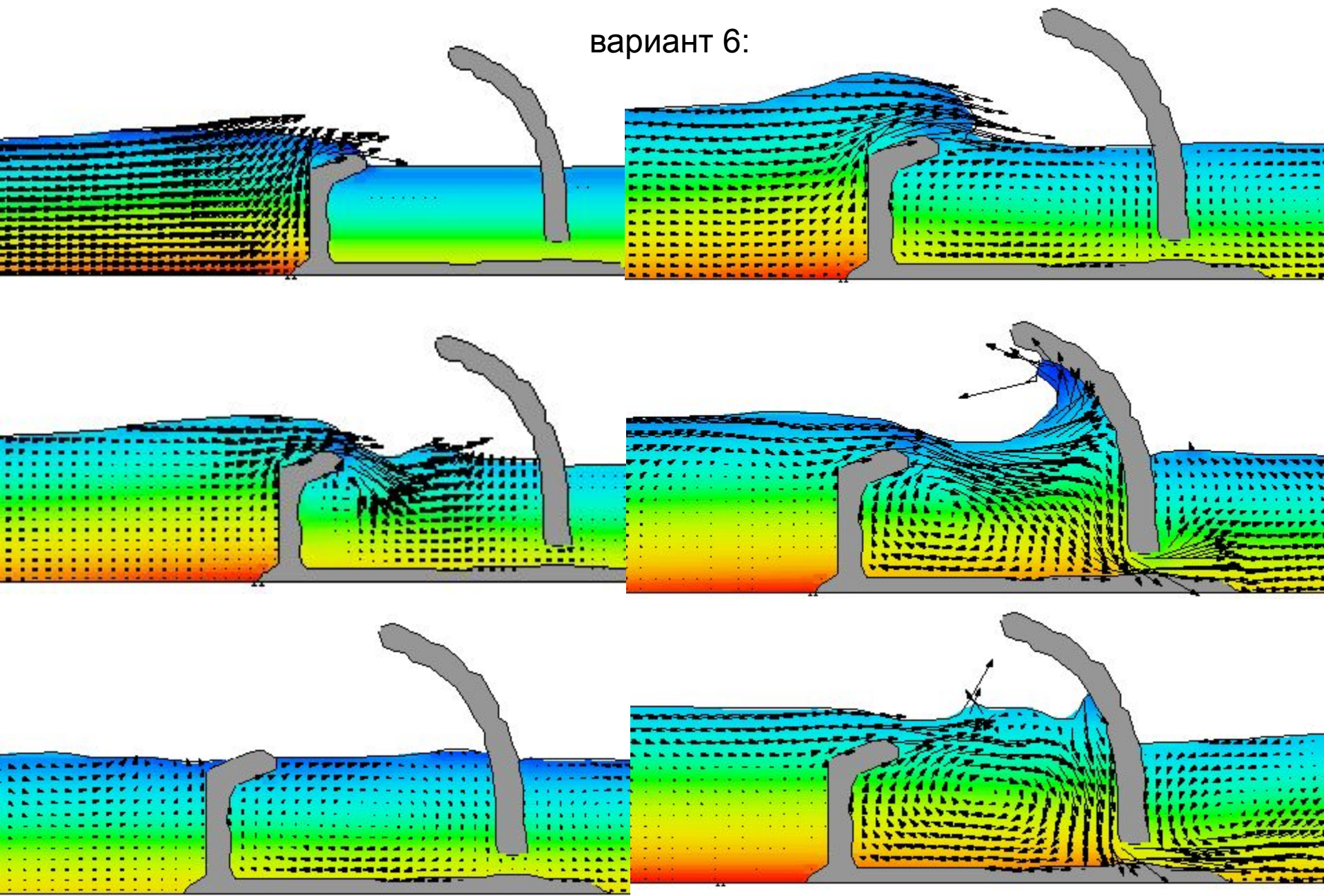
Анализ гидродинамики

вариант 5:



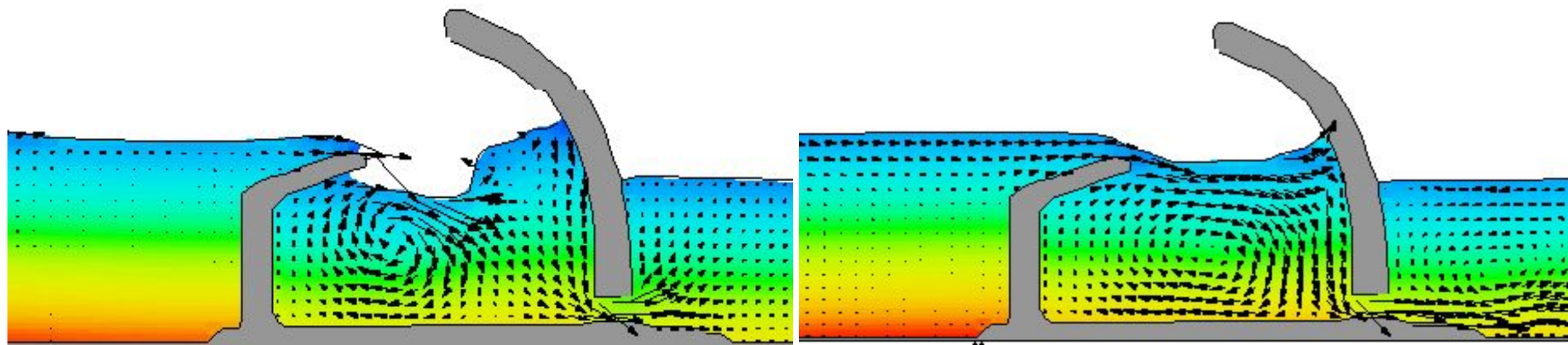
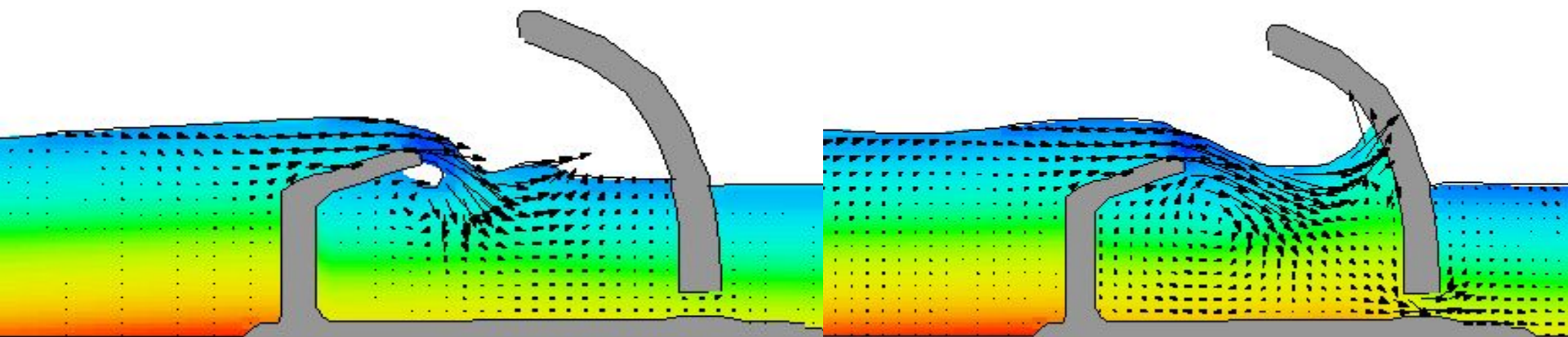
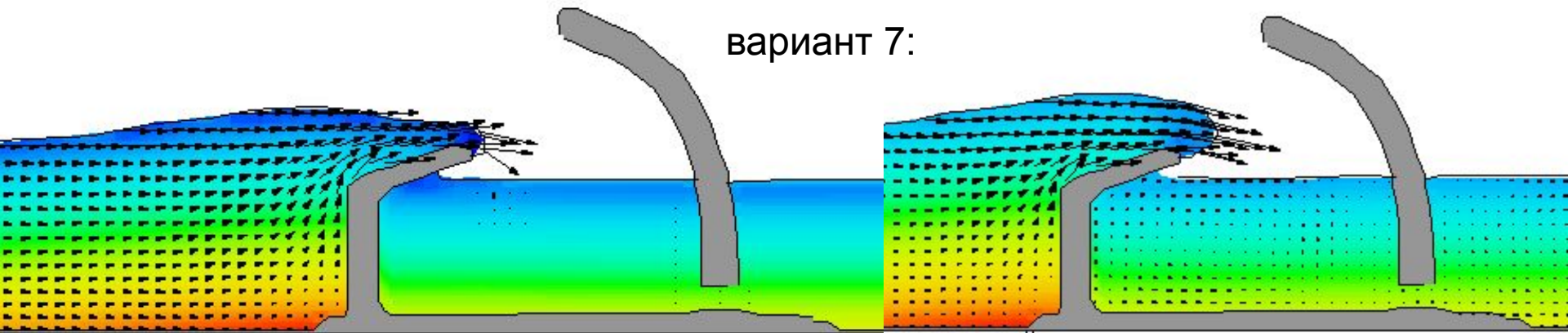
Анализ гидродинамики

вариант 6:



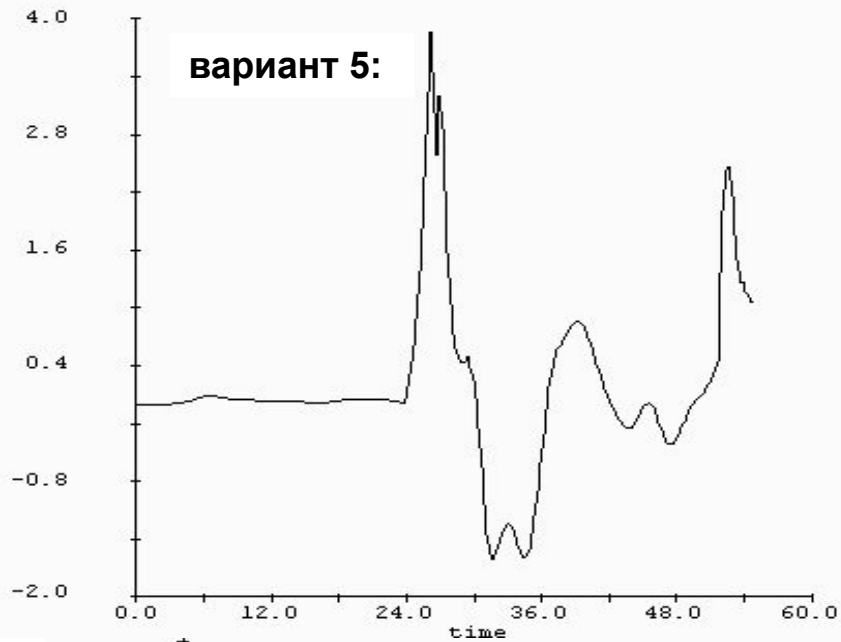
Анализ гидродинамики

вариант 7:

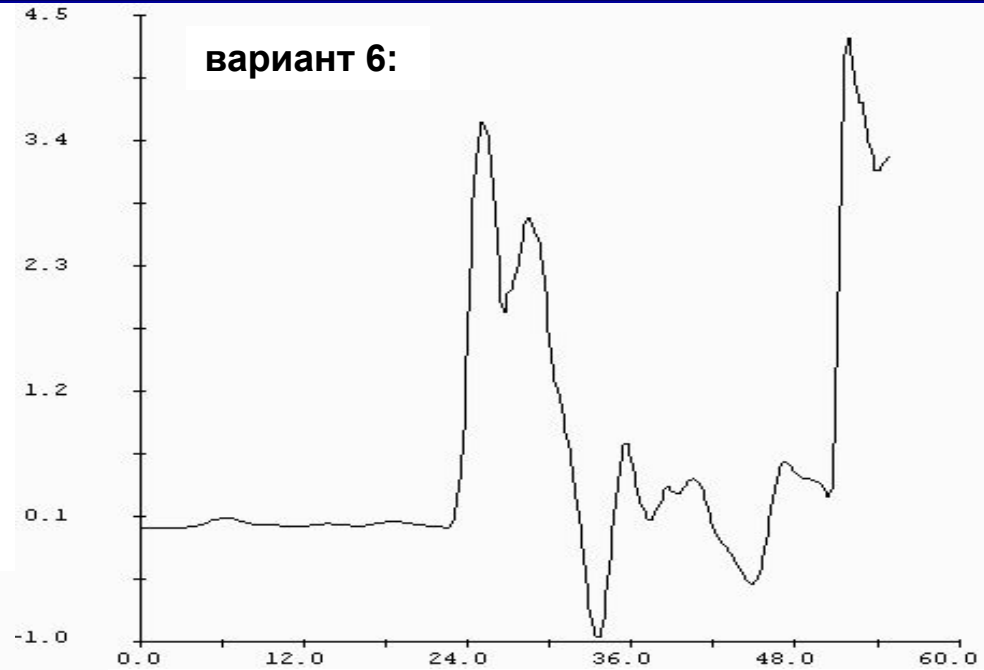


Скорости течения в подводном канале

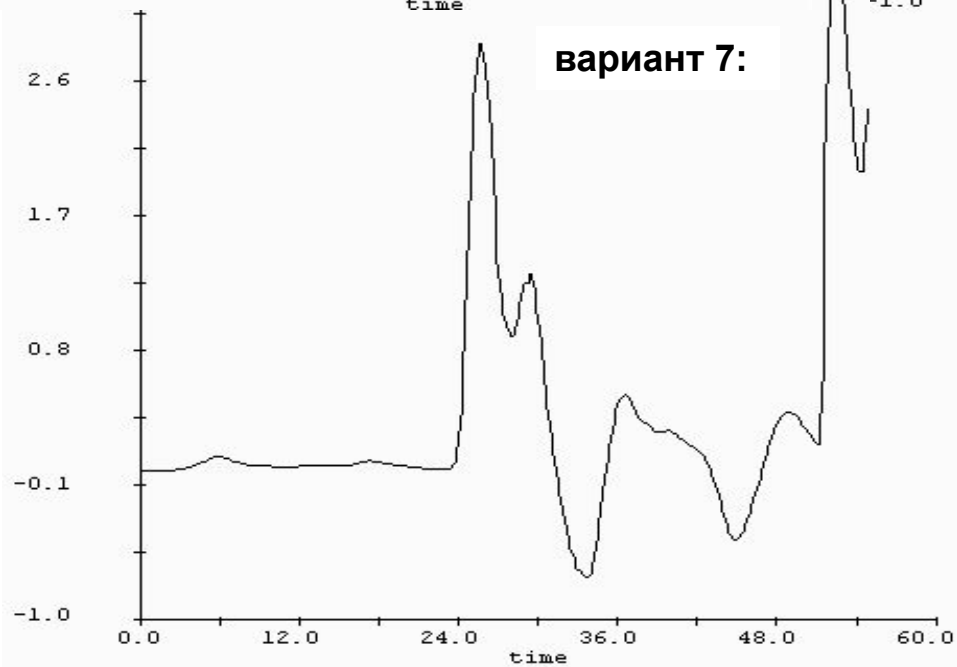
вариант 5:



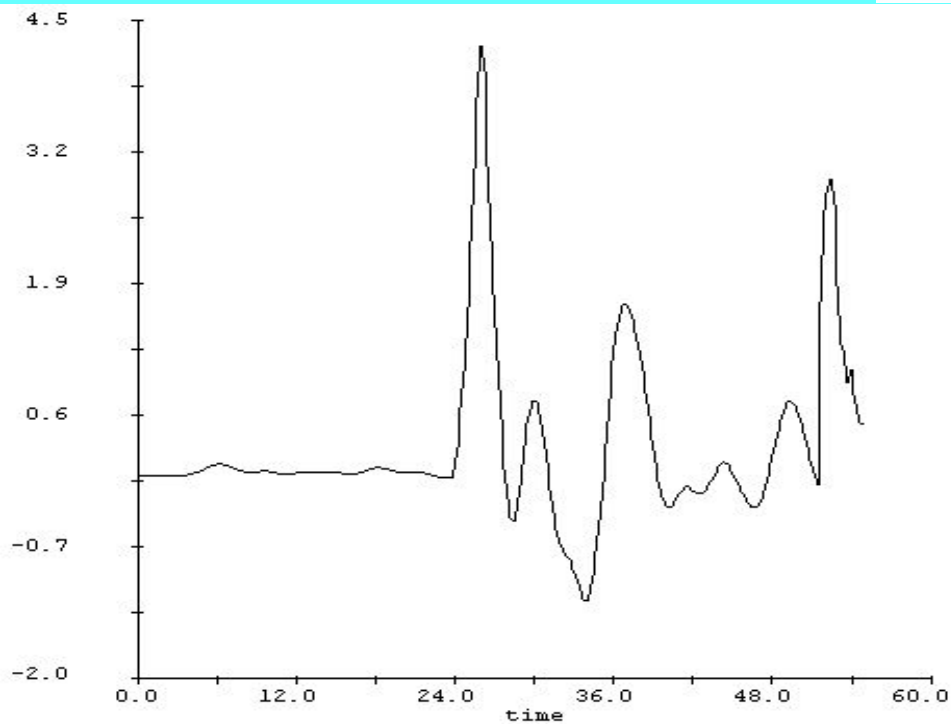
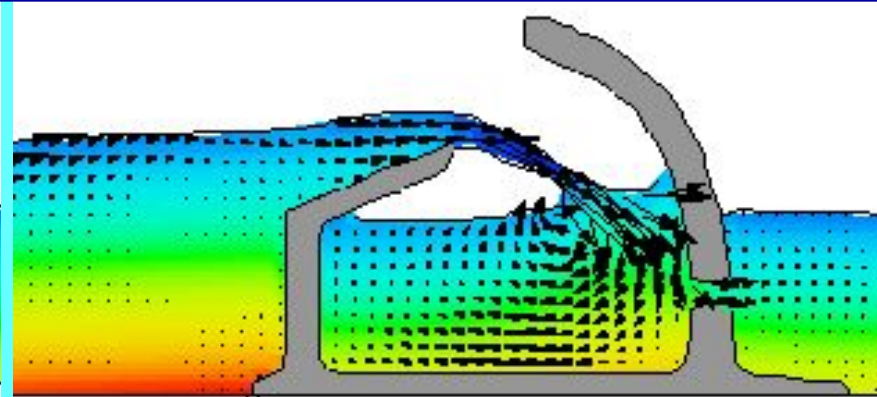
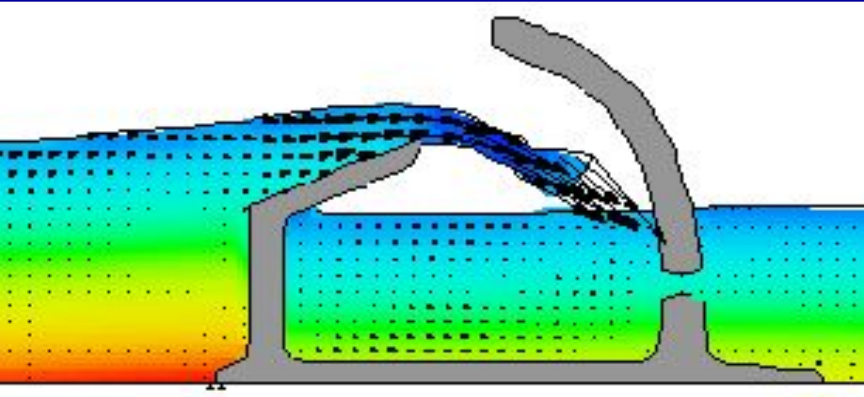
вариант 6:



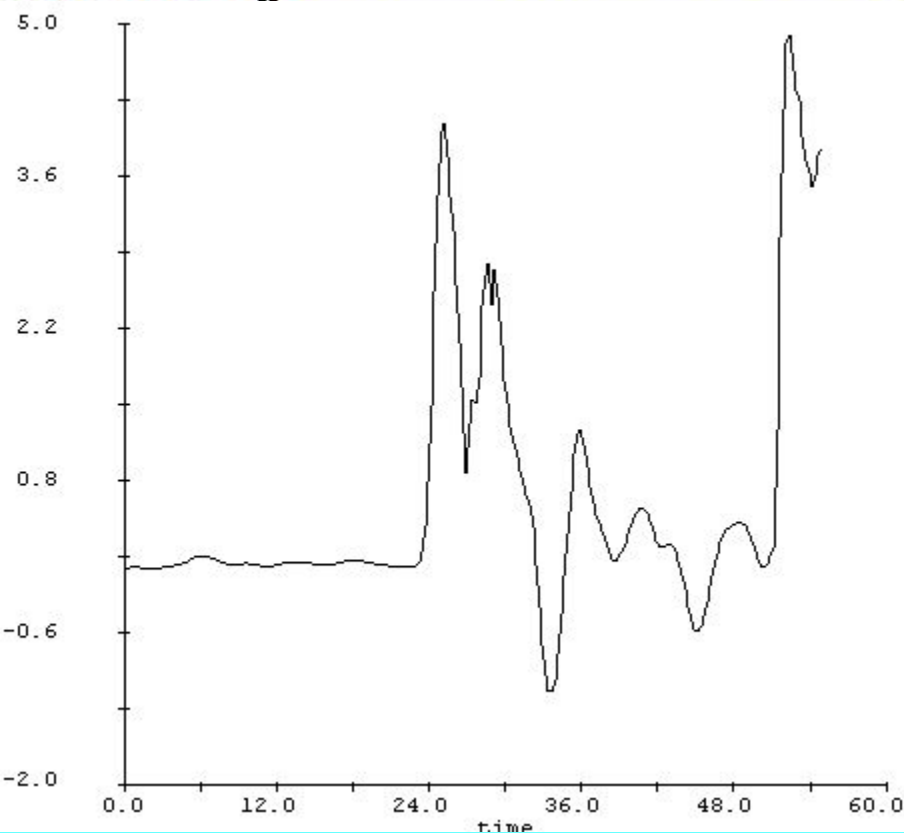
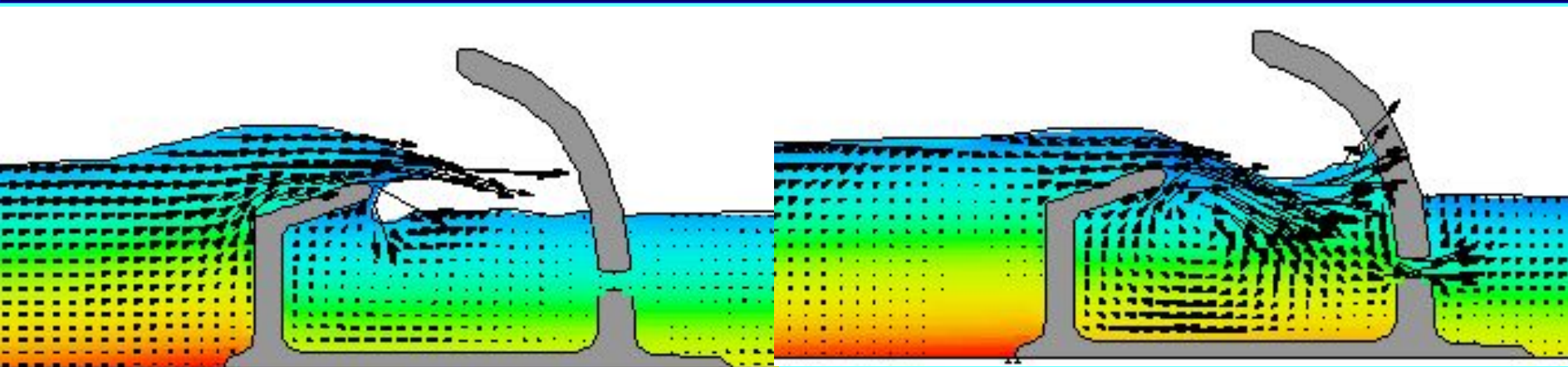
вариант 7:



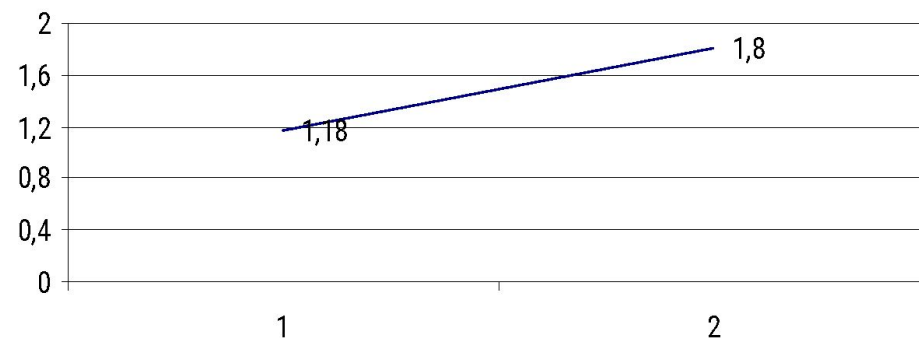
Скорости течения в подводном канале на высоте $z = 2 - 2,5$ м



Скорости течения в подводном канале на высоте $z = 2 - 2,5$ м



Влияние высоты расположения канала (Вар 7)



Технико-экономическое обоснование

Мощность гидроэнергетической установки определяется выражением:

$$N = \eta_m \eta_{эз} \rho g Q \Delta h ,$$

где η_m – к.п.д. гидротурбины, $\eta_{эз}$ – к.п.д. электрогенератора, $Q = v \cdot S$ – расход воды через гидротурбину, Δh – напор воды, подведенный к гидротурбине.

Оценка мощности гидротурбин на единицу длины фронта
(до проведения оптимизации и без учёта мощности от ударов волн):

Вариант	$h = 1,5$ м		$h = 0,75$ м	
	$Q, \text{ м}^2/\text{с}$	$N, \text{ кВт/м}$	$Q, \text{ м}^2/\text{с}$	$N, \text{ кВт/м}$
2	1,75	4,5	0,56	1,4
3а	1,75	4,5	0,5	1,2
3б	1,4	5,9	0,44	1,8
4	2,1	5,1	0,54	1,3
5	1,8	4,5	0,57	1,43
6	1,9	5,3	0,55	1,6
7	1,83	4,8	0,57	1,5

Пути повышения эффективности системы:

- дополнительный отбор мощности от ударов волн;
- оптимизация параметров;
- выбор оптимальных мест установки (в зоне прибоя);
- применение генераторов, работающих в условиях переменного потока;
- аккумулялирование энергии.

В результате может быть достигнут КПД ВлЭС более 50%.

При КПД, равном 50%, мощность ВлЭС в прибрежной зоне длиной 10 км составит 150 МВт (выработка энергии в среднем 1,4 млрд кВт·ч в год) – это существующая энергетика всей Камчатки.

Технико-экономическое обоснование

Ориентировочная стоимость строительства ВлЭС (на 1 м длины)

Затраты	Стоимость, тыс. руб./м
Бетонные работы	170
Механическое и электротехническое оборудование	200
Гидротехнические работы	90
Технический надзор	40
Итого	500

Срок окупаемости ВлЭС, исходя из среднемировой цены на энергию (\$0,1/кВт·ч), составляет 8 месяцев.

Практическая значимость

1. Предложен проект экологически чистого обеспечения прибрежных районов ДВ неограниченным во времени возобновляемым источником энергии морских волн, позволяющий отказаться от привозного топлива.
2. Возведение ВлЭС возможно с последовательным наращиванием мощности, без больших начальных затрат. Возможно строительство по единой технологии, как малых, так и больших станций.
3. Простота конструкции ВлЭС позволит строить их на отечественных, в том числе местных и малых предприятиях, решая проблему занятости. Не требуется закупка зарубежного дорогого и сложного оборудования (как в случае с ветроэнергетическими системами).
4. Постепенное наращивание мощностей ВлЭС позволит создать основу для развития эффективной экономики отдалённых регионов ДВ, повышения уровня жизни населения.
5. Комбинированное применение ВлЭС в качестве волноломов, рейдовых причалов и др. морских сооружений позволит улучшить условия прибрежного судоходства, рыболовства, развития разных видов промысла и разведения морских культур. При воздействии цунами ВлЭС может частично или полностью защитить территорию.

Эффективность ВлЭС в сравнении с другими энергосистемами

ЭС	Удельная стоимость, \$/кВт	Срок окупаемости, год	Наим. нач. капиталовложения, млн. \$	Экологичность	Доп. функции	Другие особенности
ТЭС	1000 (6500)	4	1,3	- -		Выбросы на ДВ: 40 млн. т CO ₂ и др. вредных веществ в год.
ГЭС	1200	2	300	- +	Регулирование стока рек	Длительность строительства, затопление территории
АЭС	1400 (7200)	11	330	-		Опасность техногенных катастроф, ограниченные запасы дорогого топлива
ВЭС	1500	1,5	1	+		Ограниченный срок службы. Шумность.
ПЭС	~1000	0,3	250	+		
ВлЭС	600	0,7	0,3	+	Защита от волн, причалы	

Социальная значимость проекта

- Развитие экологически чистых малых и средних энергосистем, ориентированных на социальное обустройство населения,
- Снижение цен на энергию,
- Защита от штормовых волн и цунами,
- Попутное развитие прибрежного судоходства и местных промыслов.

Практическая реализация проекта позволит отказаться от привозного топлива для отдалённых прибрежных районов ДВ и приведёт к качественному улучшению уровня жизни населения.

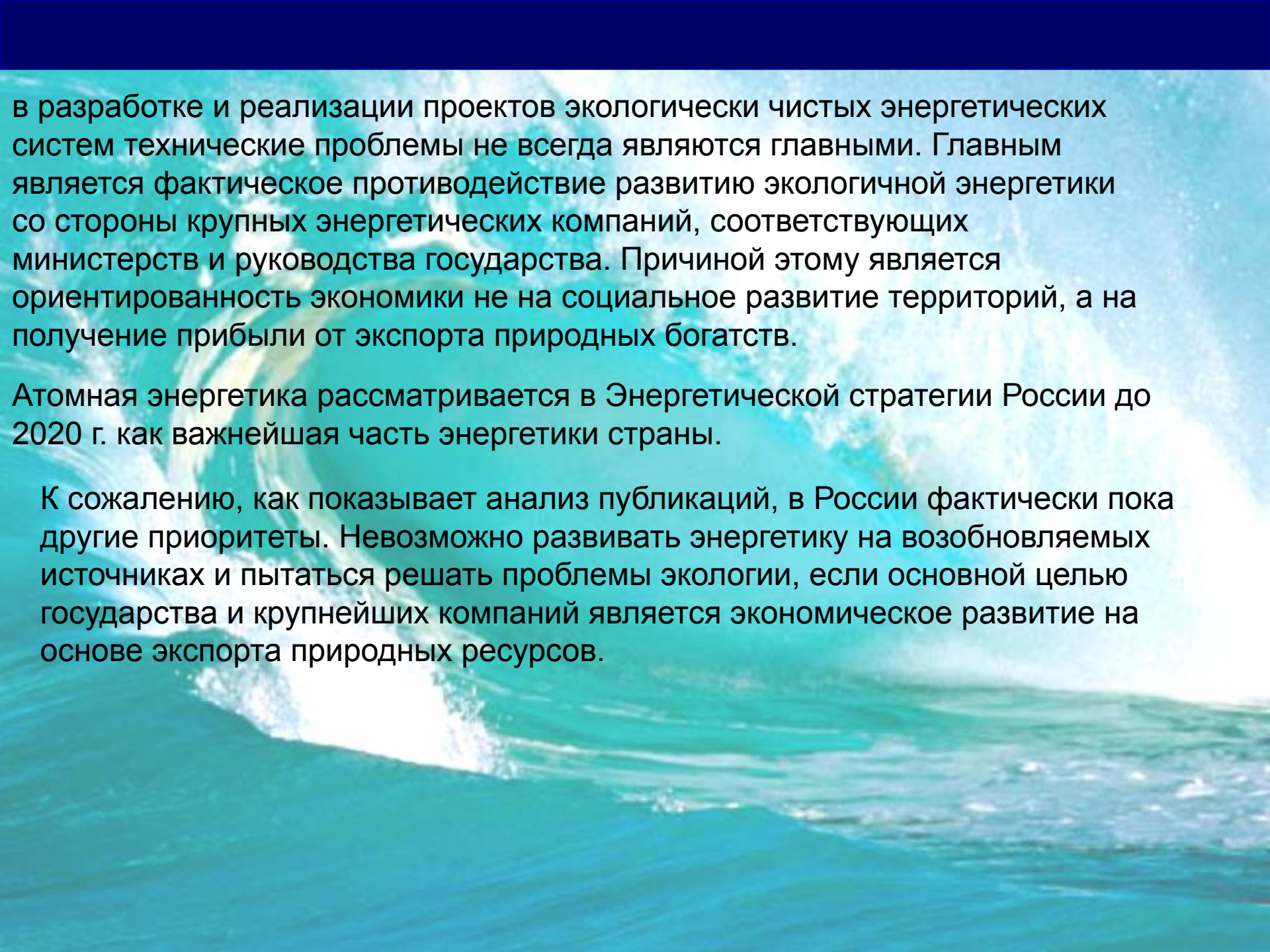
Строительство ВлЭС возможно с последовательным наращиванием мощности, без больших начальных затрат.

Простота конструкции ВлЭС позволит строить их на отечественных предприятиях, без закупки зарубежного дорогого оборудования, решая проблему занятости.

Заключение

Научная новизна и основные результаты:

- выполнен анализ существующих проектов и действующих ВлЭС, выявлены проблемы их внедрения и предложен новый проект ВлЭС;
- для оптимизации параметров ВлЭС разработаны численные модели анализа гидродинамики и проработаны вопросы компьютерного моделирования;
- произведены компьютерные расчёты, позволившие выявить особенности гидродинамики ВлЭС;
- проработаны варианты принципиальной схемы и намечены пути их дальнейшей оптимизации;
- выполнено технико-экономическое обоснование проекта и доказана эффективность ВлЭС. Предложен план реализации проекта.



в разработке и реализации проектов экологически чистых энергетических систем технические проблемы не всегда являются главными. Главным является фактическое противодействие развитию экологичной энергетики со стороны крупных энергетических компаний, соответствующих министерств и руководства государства. Причиной этому является ориентированность экономики не на социальное развитие территорий, а на получение прибыли от экспорта природных богатств.

Атомная энергетика рассматривается в Энергетической стратегии России до 2020 г. как важнейшая часть энергетики страны.

К сожалению, как показывает анализ публикаций, в России фактически пока другие приоритеты. Невозможно развивать энергетику на возобновляемых источниках и пытаться решать проблемы экологии, если основной целью государства и крупнейших компаний является экономическое развитие на основе экспорта природных ресурсов.