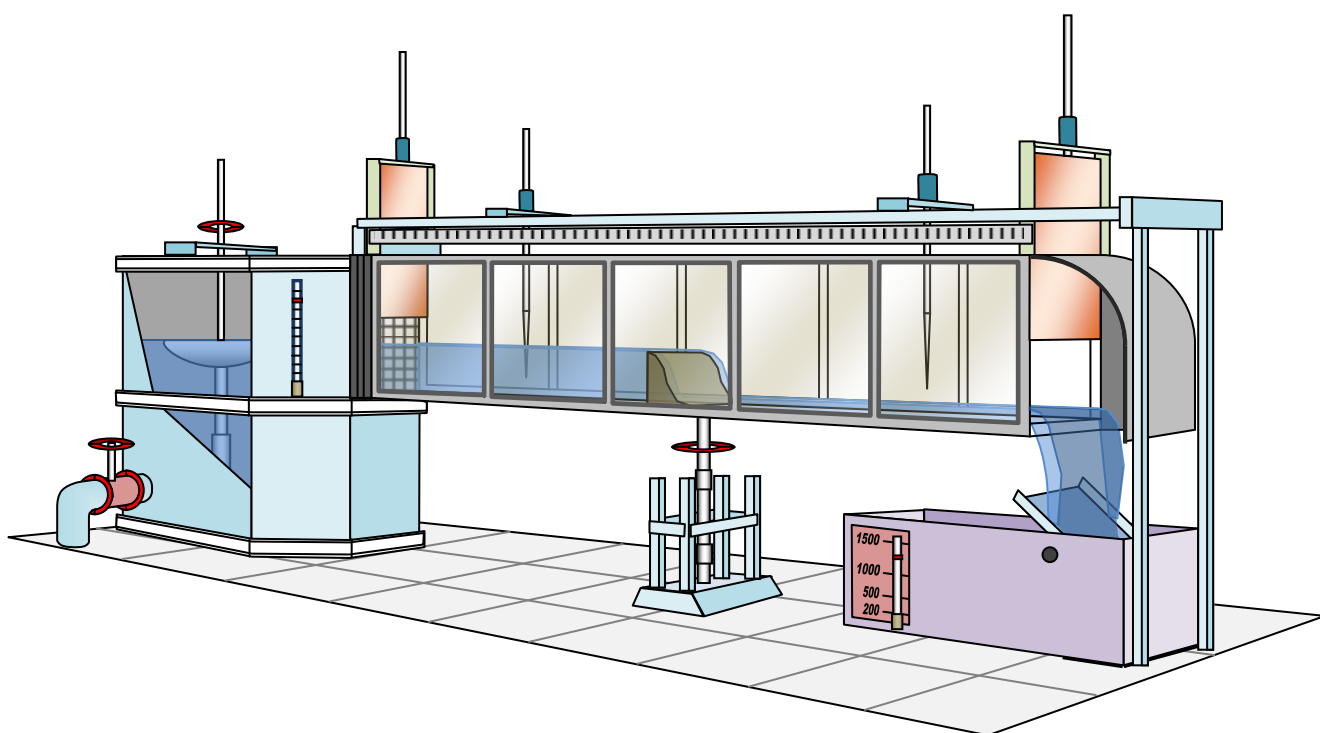


ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ»

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



СОДЕРЖАНИЕ

1. Описание программного продукта.....	3
2. Порядок работы с редактором имитационных моделей	4
2.1. Описание элементов главного окна программы.....	4
2.2. Основные размеры и система координат лотка.....	13
2.3. Общее описание редактора точек кривых свободной поверхности.....	15
2.4. Способы изменения координат точек поверхностей.....	19
3. Порядок работы с модулем интерактивной трехмерной визуализации процесса течения воды в открытом русле.....	34
Примечание по замеру отметок поверхности воды вблизи затворов....	45
Автор программного продукта.....	47

1. Описание программного продукта

В данном документе описаны основные принципы работы с программным продуктом: дается подробное описание элементов интерфейса пользователя и основного инструментария, описывается порядок взаимодействия с симулятором. Методика выполнения лабораторных работ и обработки выходных данных экспериментов изложена в специальном лабораторном практикуме по курсу гидравлики открытых потоков.

Виртуальная лаборатория «Изучение движения воды в открытом русле» предназначена для выполнения имитационных лабораторных работ по курсу гидравлики открытых потоков. Программный продукт включает два компонента – редактор имитационных моделей открытых потоков и модуль интерактивной трехмерной визуализации процесса течения воды в открытом русле. В программе имитируется работа лабораторного гидравлического лотка, оснащенного необходимыми измерительными устройствами, а также органами регулирования подачи и отключения воды. В возможности виртуальной лаборатории входит установка в лоток специальных приспособлений, имитирующих работу гидротехнических сооружений – водосливов, дорожных труб, мостов и т.д.

Использование программного продукта в учебном процессе подразумевает два основных этапа работы. Первый этап осуществляется квалифицированным специалистом в области гидравлики открытых потоков (преподавателем). На данном этапе разрабатываются имитационные модели течения воды в открытом русле. Имитационная модель представляет собой файл параметров, включающий координаты точек кривых свободной поверхности потока воды, а также параметры работы лабораторной установки. Построение моделей осуществляется в специальном графоаналитическом редакторе, позволяющем сконфигурировать файл параметров для последующей передачи его в модуль интерактивной трехмерной визуализации. Второй этап работы заключается в имитационном проведении эксперимента. Данный этап выполняется студентом в соответствии с методическими указаниями. В процессе работы, студент производит необходимые замеры глубин, величины расхода воды и др., производит обработку полученных данных и формулирует основные выводы. Результатом выполнения данного этапа работы является составленный отчет по лабораторной работе.

Ввиду высокой ресурсоемкости производимых вычислительных операций, не рекомендуется запускать компоненты симулятора (редактор и лабораторную работу) одновременно. Кроме того, во время работы симулятора крайне рекомендуется закрывать активные программы, работающие параллельно, а также, работающие в фоновом режиме, в том числе ресурсоемкие антивирусные программы (к примеру, «Антивирус Касперского»).

Минимальные системные требования программного продукта:

- центральный процессор: Intel/AMD, не менее 2,1 ГГц;
- свободное дисковое пространство: 200 Мб;

- оперативная память: не менее 2 Гб;
- видеопамять: не менее 512 Мб (предпочтительны видеокарты NVidia GeForce);
- минимальное разрешение экрана: 1024x768x32 (оптимальное разрешение 1280x1024x32);
- наличие устройств воспроизведения звука (аудиоколонок/наушников);
- мышь с колесом прокрутки;
- операционная система: Microsoft Windows XP и выше (включая Windows 8.1);
- установленные драйвера Microsoft DirectX версии 9.0.c и выше;
- установленные компоненты среды выполнения Microsoft Visual C++ (Visual C++ Redistributor x86/x64).

Программный продукт протестирован на ряде персональных компьютеров, при этом установлена оптимальная конфигурация оборудования:

- центральный процессор: Pentium(R) Dual-Core E5300 2,6 ГГц;
- объем оперативной памяти: 2 Гб;
- видеоадаптер: NVidia GeForce GTX 460, 768 Мб;
- монитор: Acer V193, разрешение 1280x1024x32;
- звуковая плата Realtek HD.

Установка программного продукта выполняется в соответствии с прилагаемой инструкцией. Дополнительные материалы (видеофрагменты и демо-версии) представлены на информационном веб-сайте: www.sunspire.ru.

2. Порядок работы с редактором имитационных моделей

2.1. Описание элементов главного окна программы

После установки программного продукта на жесткий диск компьютера в меню «Пуск» и на «Рабочем столе» операционной системы Windows создаются ярлыки для запуска программ (рисунок 1).

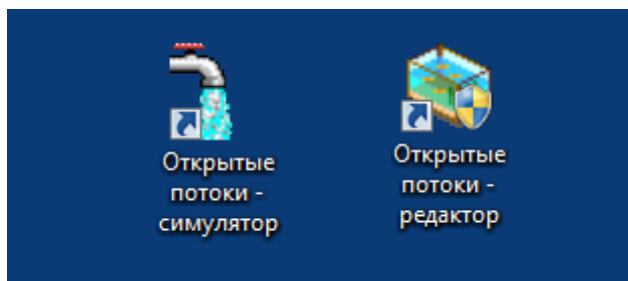


Рисунок 1 – Ярлыки запуска программ

По умолчанию редактор моделей запускается с правами администратора, что необходимо для беспрепятственного сохранения данных на жестком диске (в частности, на системном разделе «С» жесткого диска компьютера). Для запуска редактора моделей наведите указатель мыши на соответствующий ярлык и

выполните двойной щелчок (клик) левой кнопкой мыши. При запуске программы из меню «Пуск» требуется один клик по ярлыку.

После запуска редактора на экране откроется главное окно программы (рисунок 2).

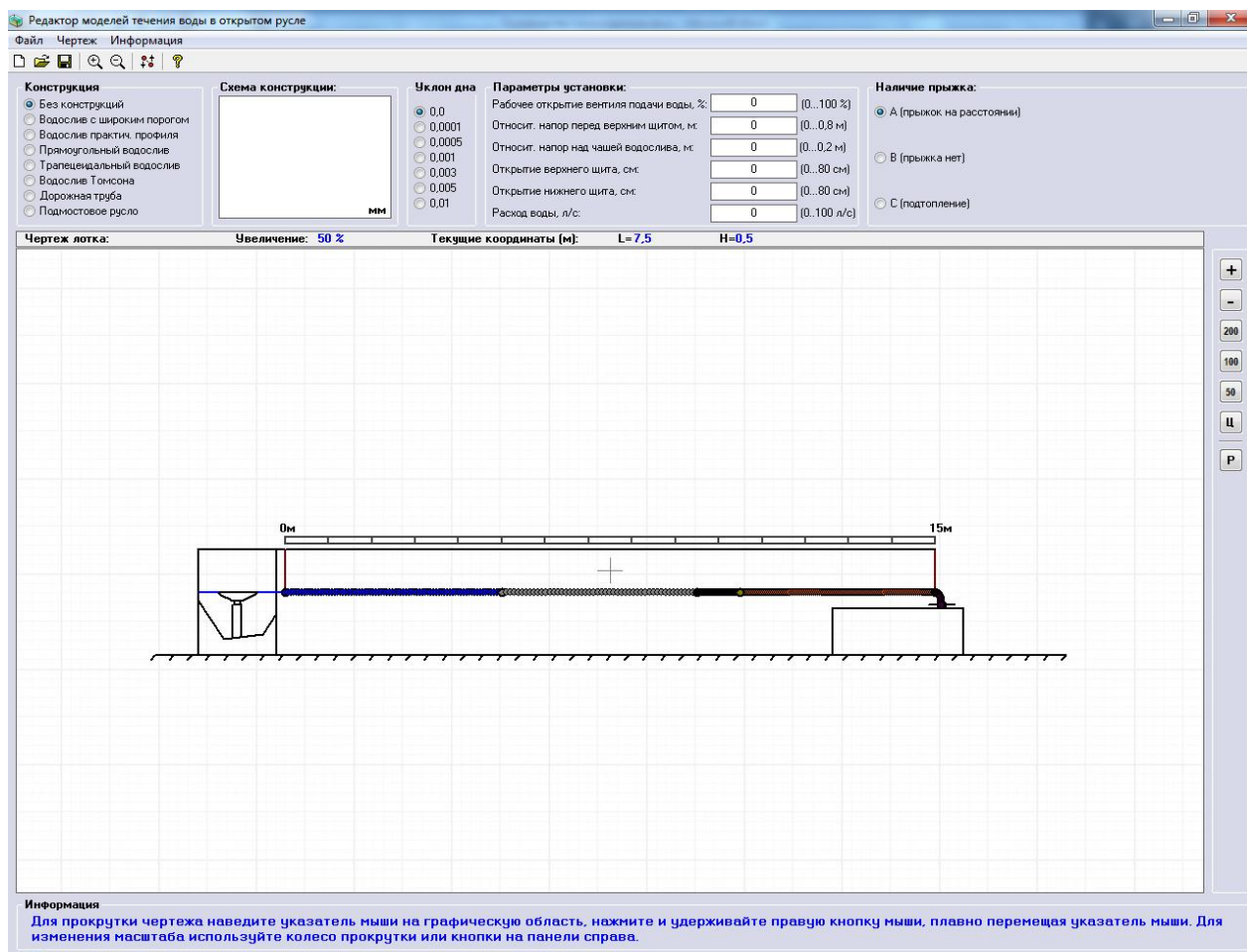


Рисунок 2 – Ярлыки запуска программ

В основной части окна отображается чертеж лабораторной установки. Чтобы прокрутить чертеж, необходимо навести указатель мыши в любую область чертежа, нажать и удерживать правую кнопку мыши, плавно перемещая мышь в нужном направлении. Во время перемещения указатель мыши примет вид перекрестия из стрелок (рисунок 3).

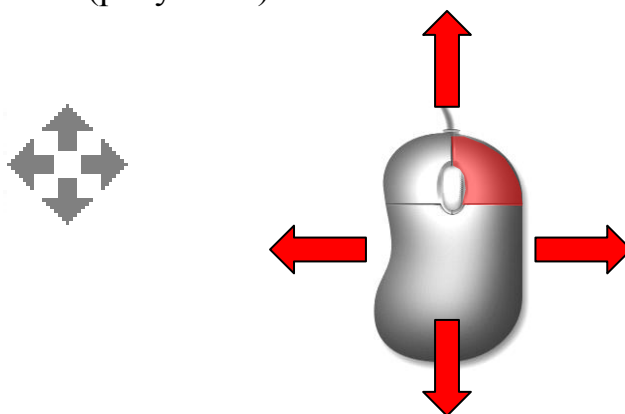


Рисунок 3 – Прокрутка чертежа с помощью мыши

Для масштабирования чертежа можно использовать колесо прокрутки мыши (скролл). Вращение скролла от себя приведет к увеличению масштаба чертежа, а вращение на себя – уменьшению. Численно масштаб оценивается в процентах увеличения исходного (экранного) изображения. Минимальный масштаб составляет 30 %, а максимальный 2000 %.

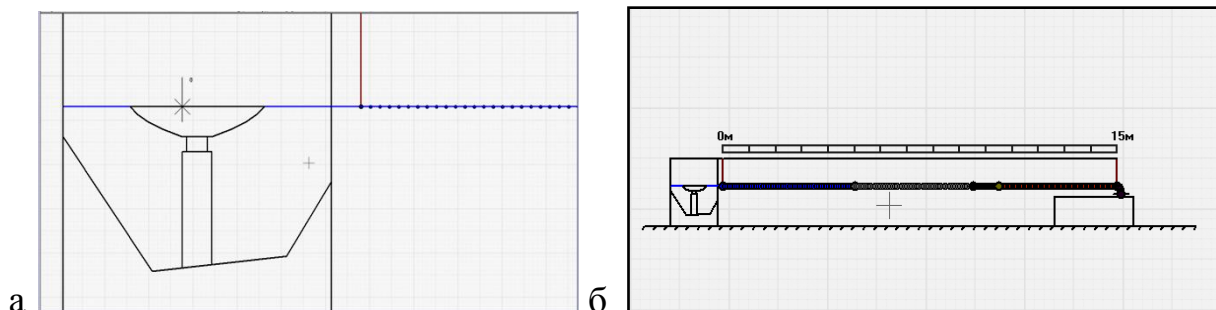


Рисунок 4 – Изображение чертежа при значениях масштаба: 300 % (а) и 30 % (б)

Все построения на чертеже производятся автоматически в зависимости от заданных параметров. Чертеж является основным средством визуального контроля кривых свободной поверхности моделируемого потока. Над чертежом располагается информационная строка (рисунок 5), в которой отображается текущий масштаб и координаты центральной точки экрана (прицела) в натуральных единицах (метрах).



Рисунок 5 – Информационная строка чертежа

Справа от чертежа расположена вспомогательная панель быстрого доступа (рисунок 6), включающая 7 функциональных кнопок.

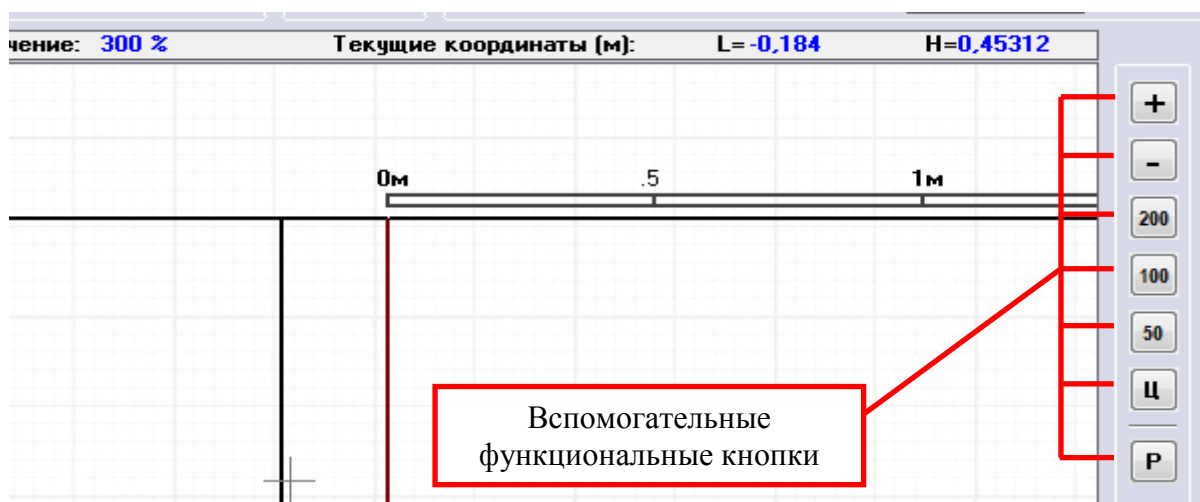


Рисунок 6 – Вспомогательная панель быстрого доступа

Первые 6 кнопок (сверху вниз) дублируют функции мыши при работе с чертежом. Кнопки с изображением знаков «+» и «-» пошагово изменяют масштаб чертежа. Кнопки «200», «100», «50» задают 200-, 100-, и 50-процентный масштабы, соответственно. Кнопка «Ц» центрует чертеж (лист позиционируется таким образом, чтобы центральная точка экрана оказалась посередине

изображения лотка). Последняя точка с изображением «Р» открывает редактор точек проектируемых кривых свободной поверхности, описание которого последует ниже. Некоторые представленные функции продублированы в меню главного окна (рисунок 7.а), а также, на панели инструментов в верхней части окна (рисунок 7.б).

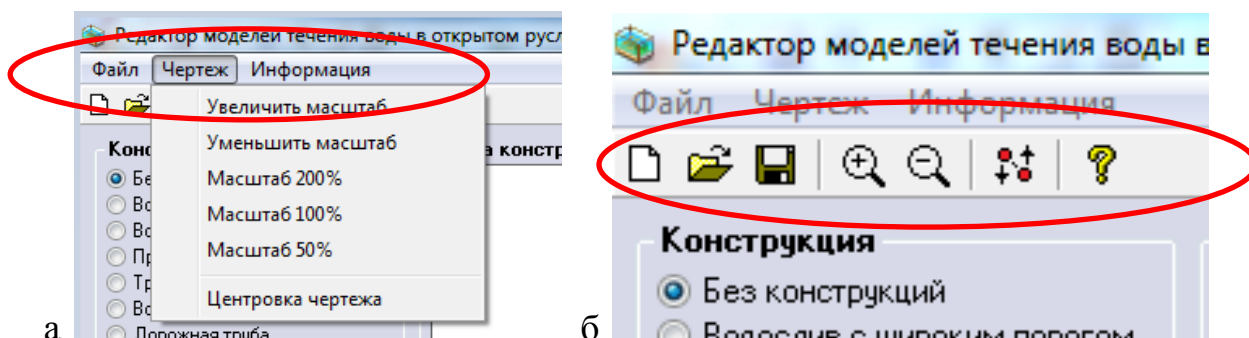


Рисунок 7 – Дублирующие функциональные элементы интерфейса: меню главного окна (а), верхняя панель инструментов (б)

В нижней части окна (под чертежом) выводятся краткие текстовые сообщения, отражающие основную информацию о конкретном элементе интерфейса.

Важным функциональным элементом программы является панель параметров лабораторной установки, расположенная над информационной строкой чертежа (рисунок 8).

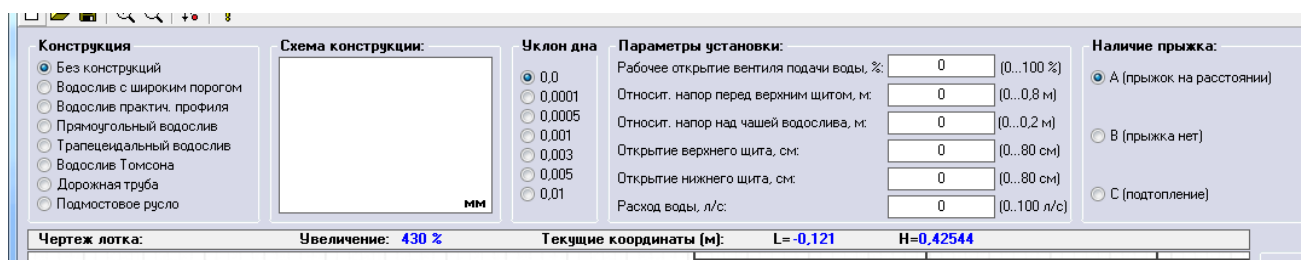


Рисунок 8 – Панель параметров лабораторной установки

Первый блок (слева направо) содержит 8 переключателей, отвечающих за выбор конструкций, устанавливаемых в лоток в зависимости от условий рассматриваемой задачи. По умолчанию (при запуске программы) выбрана первая позиция «Без конструкций». На выбор пользователя доступны 7 конструкций, имитирующих различные гидротехнические сооружения. Справа от первого блока переключателей приводится миниатюрная схема конструкции (рисунок 9), и ее основные размеры (в миллиметрах).



Рисунок 9 – Схемы конструкций

Конструкция №1: «Водослив с широким порогом» – горизонтальное прямоугольное геометрическое тело, размеры которого представлены на рисунке 10.

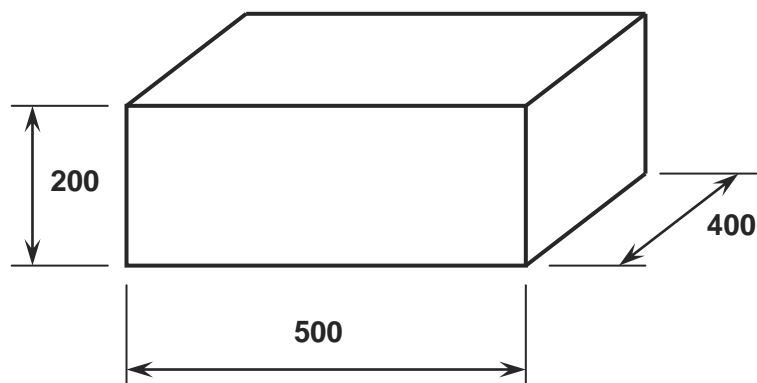


Рисунок 10 – Размеры конструкции водослива с широким порогом

Конструкция №2: «Водослив практического профиля» – криволинейное геометрическое тело, размеры которого представлены на рисунке 11.

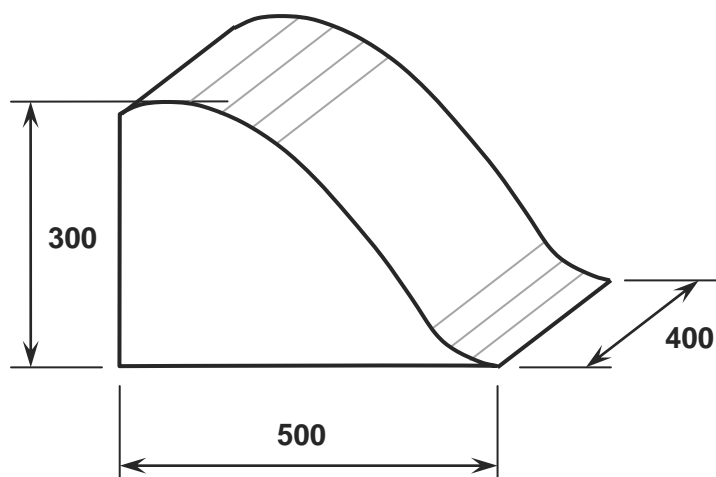


Рисунок 11 – Размеры конструкции водослива практического профиля

Конструкция №3: «Прямоугольный водослив с тонкой стенкой» – прямоугольное тонкостенное геометрическое тело, размеры которого представлены на рисунке 12.

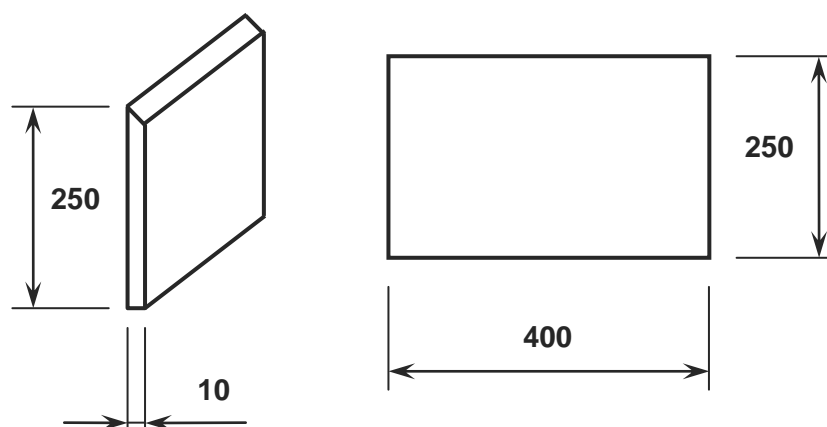


Рисунок 12 – Размеры конструкции прямоугольного водослива с тонкой стенкой

Конструкция №4: «Трапецидальный водослив с тонкой стенкой» – тонкостенное геометрическое тело с характерной формой выреза, размеры которого представлены на рисунке 13.

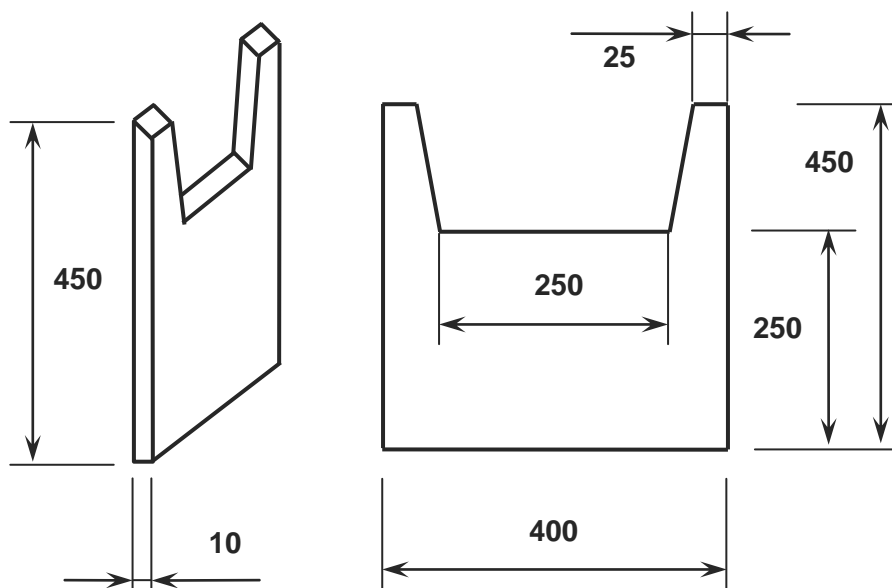


Рисунок 13 – Размеры конструкции трапецидального водослива с тонкой стенкой

Конструкция №5: «Водослив Томсона» – тонкостенное геометрическое тело с характерной формой выреза, размеры которого представлены на рисунке 14.

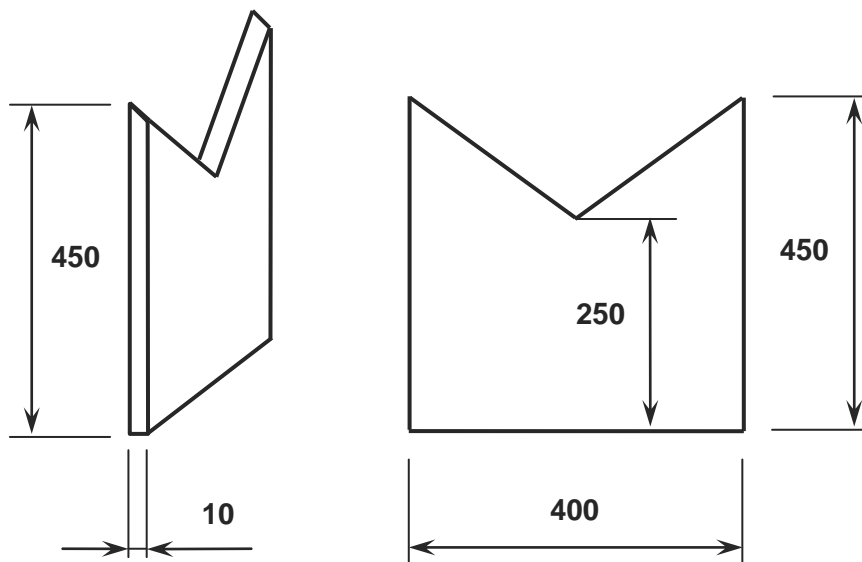


Рисунок 14 – Размеры конструкции водослива Томсона

Конструкция №6: «Дорожная труба» – геометрическое тело правильной формы, имитирующее сооружение насыпи с поперечным сквозным отверстием, размеры которого представлены на рисунке 15.

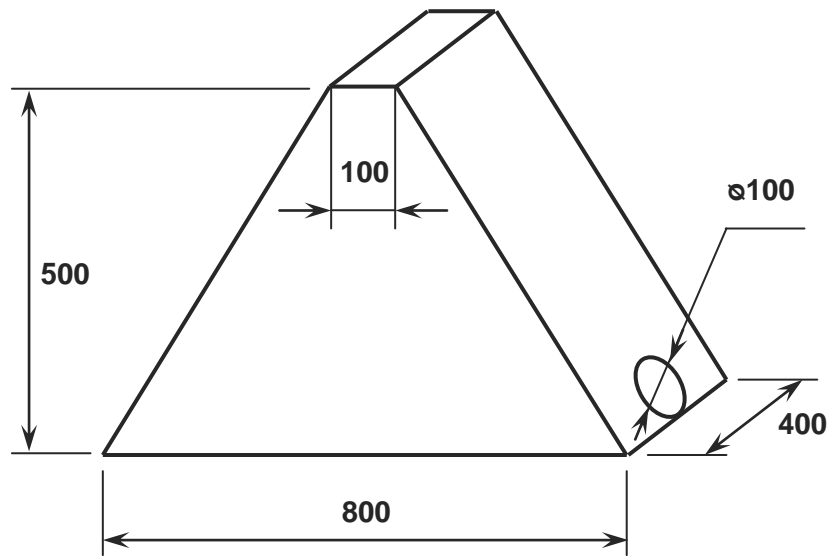


Рисунок 15 – Размеры конструкции дорожной трубы

Конструкция №7: «Подмостовое русло» – пара геометрических тел прямоугольной формы, имитирующих пролет моста. Размеры конструкции представлены на рисунке 16.

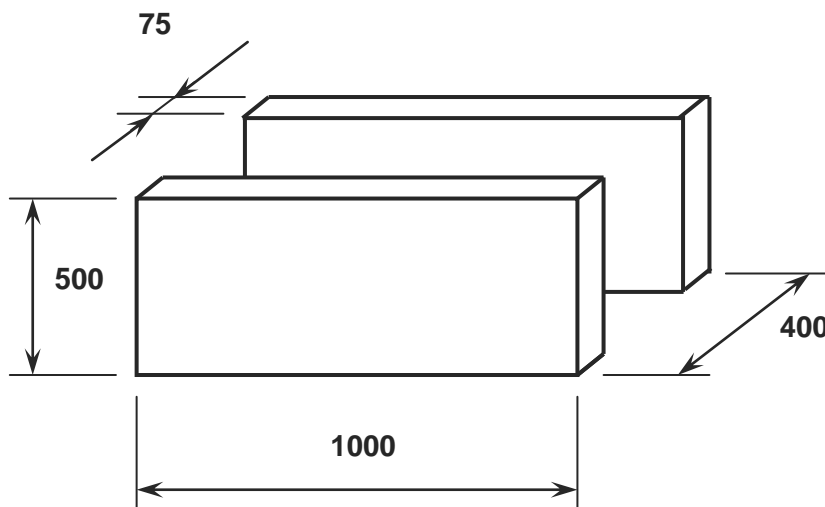


Рисунок 16 – Размеры конструкции подмостового русла

В следующем блоке панели параметров представлены 7 переключателей (рисунок 17), задающих величину уклона дна лотка.

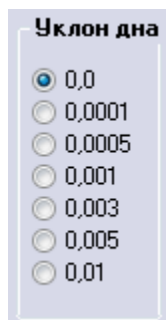


Рисунок 17 – Переключатели величины уклона дна лотка

Уклон дна (i) представляет собой отношение разницы вертикальных координат двух точек к разнице их горизонтальных координат (рисунок 18), или тангенс угла наклона лотка. В данной работе рассматриваются только положительные уклоны (наклон лотка вниз). Нулевой уклон соответствует горизонтальному положению дна лотка.

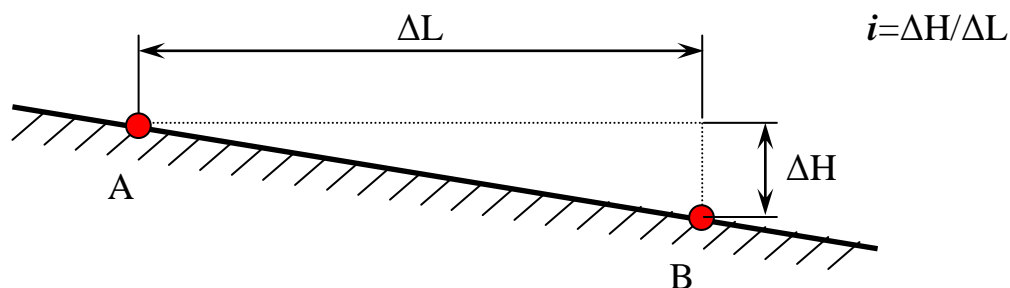


Рисунок 18 – К определению уклона дна

В следующем блоке расположены текстовые поля для ввода основных параметров лабораторной установки (рисунок 19).

Параметры установки:		
Рабочее открытие вентиля подачи воды, %:	<input type="text" value="100"/>	(0...100 %)
Относит. напор перед верхним щитом, м:	<input type="text" value="0,255"/>	(0...0,8 м)
Относит. напор над чашей водослива, м:	<input type="text" value="0,03"/>	(0...0,2 м)
Открытие верхнего щита, см:	<input type="text" value="70"/>	(0...80 см)
Открытие нижнего щита, см:	<input type="text" value="65"/>	(0...80 см)
Расход воды, л/с:	<input type="text" value="24,714"/>	(0...100 л/с)

Рисунок 19 – Блок настройки основных параметров лабораторной установки

Параметр №1 (сверху вниз): «Рабочее открытие вентиля подачи воды» задает процент конечного открытия задвижки. Данный параметр влияет только на визуальную часть процесса наполнения установки водой в трехмерном симуляторе. Вращение маховика вентиля подачи воды осуществляется до величины, заданной в данном текстовом поле. Диапазон допустимых значений: 0...100 %.

Параметр №2: «Относительный напор перед верхним щитом» – превышение (H_0) отметки свободной поверхности воды в напорном баке над горизонтальным дном лотка (рисунок 20). Диапазон допустимых значений: 0...0,8 м.

Параметр №3: «Относительный напор над чашей водослива» – разность (Δh) отметок верхней кромки чаши водослива и поверхности воды в напорном баке (рисунок 20). Диапазон допустимых значений: 0...0,2 м.

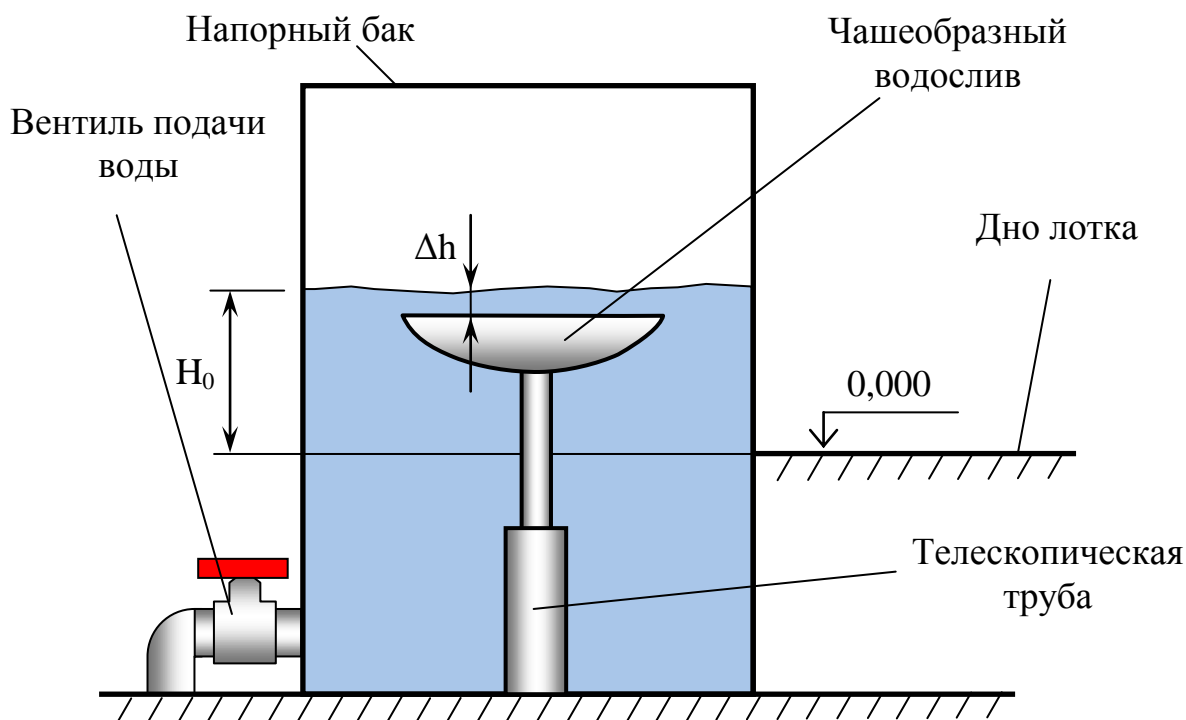


Рисунок 20 – Схема напорного бака лотка

Параметр №4: «Открытие верхнего щита» – зазор (A_1) между дном лотка и нижней кромкой верхнего затвора (рисунок 21). Диапазон допустимых значений: 0...80 см.

Параметр №5: «Открытие нижнего щита» – зазор (A_2) между дном лотка и нижней кромкой нижнего затвора (рисунок 21). Диапазон допустимых значений: 0...80 см.

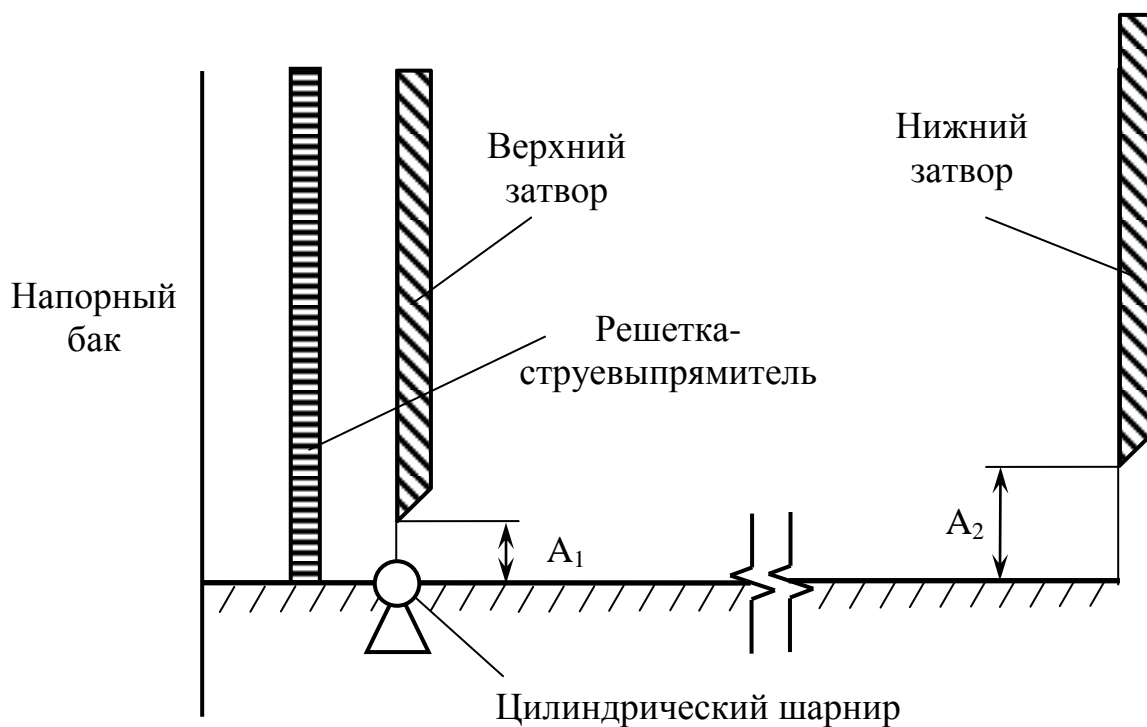


Рисунок 21 – Схема расположения затворов

Параметр №6: «Расход воды» – величина (Q) общего расхода воды в установке между дном лотка и нижней кромкой нижнего затвора (рисунок 21). Диапазон допустимых значений: 0...100 л/с. В имитационной лабораторной работе расход воды определяется путем замера времени наполнения расходомерного бака до требуемой отметки объема.

Последний блок параметров содержит три переключателя, описывающих наличие, либо отсутствие в потоке гидравлического прыжка. Данные параметры будут описаны ниже.

2.2. Основные размеры и система координат лотка

В симуляторе имитируется лабораторный гидравлический лоток длиной 15, шириной 0,4 и высотой 1 метр (рисунок 22). Началом лотка (началом системы координат) является левый край дна. Вращение лотка осуществляется относительно начальной точки.

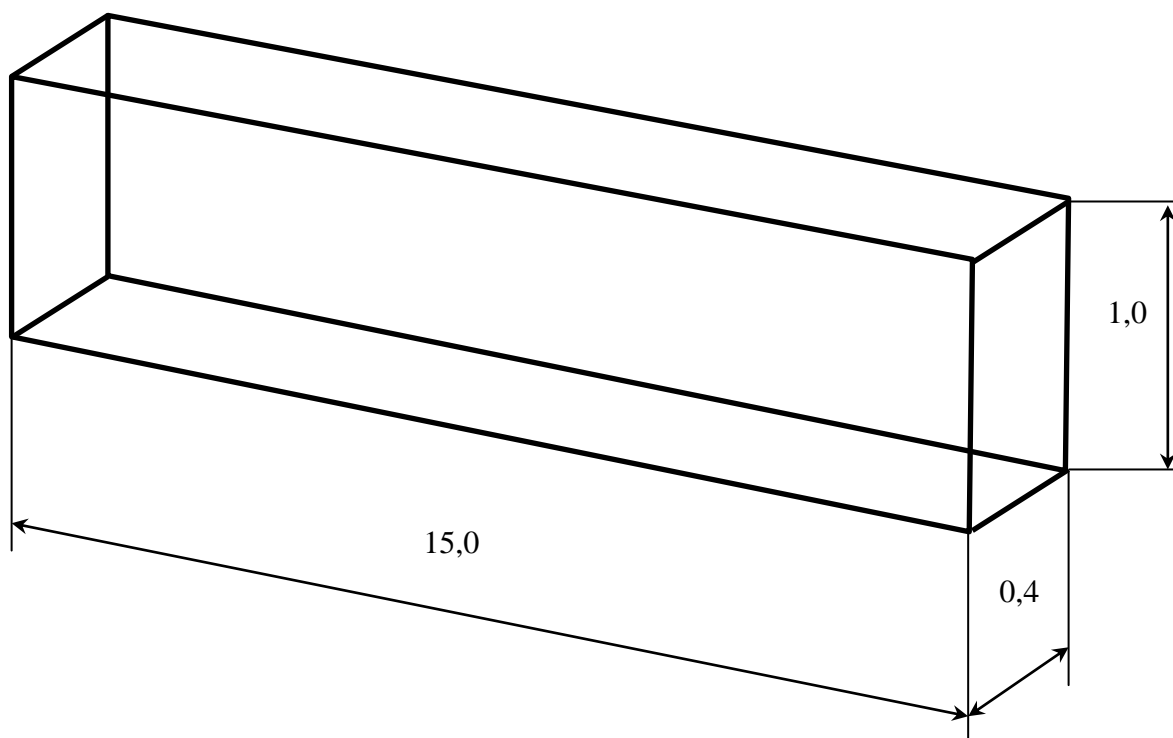


Рисунок 22 – Габариты гидравлического лотка

Система координат лотка включает две оси – ось длин (L) и ось глубин (H) или отметок. Ось H всегда вертикальна. Глубина под конкретной точкой в пределах лотка отмеряется от дна с учетом уклона лотка (рисунок 23). При расположении в лотке конструкций используется ось длин L' , параллельная дну лотка, а при построении кривых свободной поверхности используется ось длин L , имеющая строго горизонтальное положение. В лабораторной работе замеры отметок свободной поверхности производятся с помощью специальных

приспособлений – шпигенмасштабов. Продольное движение шпигенмасштабов осуществляется по оси L (строго горизонтально). Ввиду пренебрежимо малого расхождения длин L и L' , во всех расчетах используется только горизонтальная ось L , а наклонная ось L' используется только при построении профиля дна лотка (как на чертеже, так и в трехмерной модели).

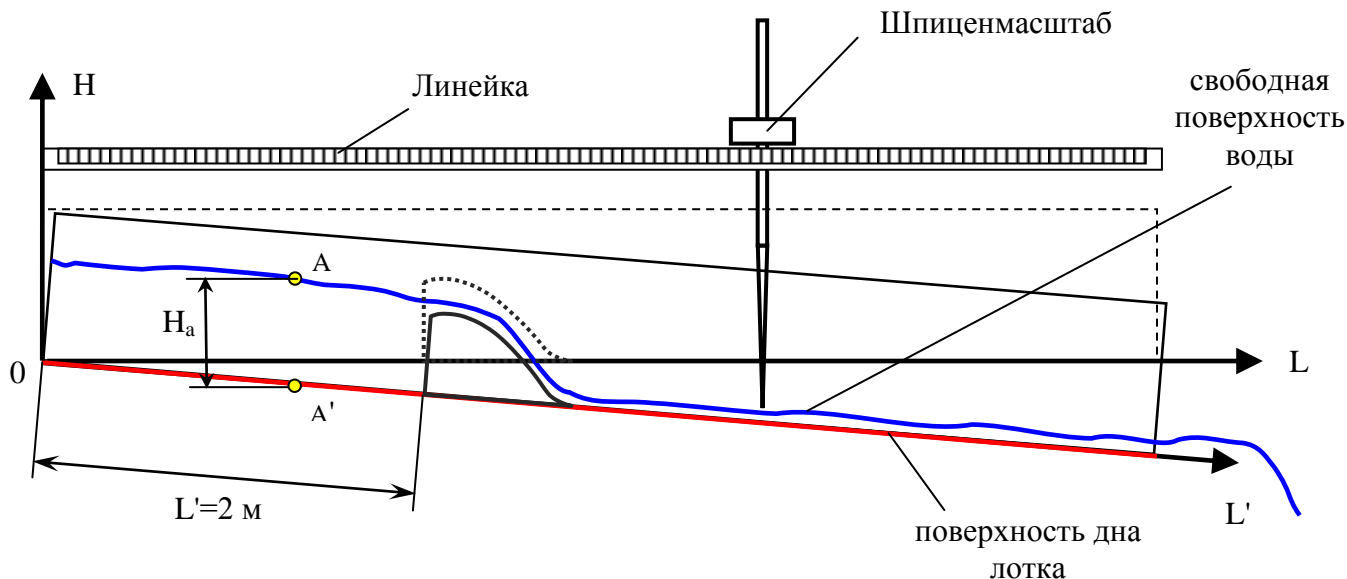


Рисунок 23 – Система координат лотка

На чертеже над лотком изображена горизонтальная линейка оси L (рисунок 24). Градуировка линейки меняется в зависимости от масштаба: при масштабе, меньшем 150 % шаг делений линейки составляет 1 м, а при большем масштабе шаг делений составляет 0,5 м. Как отмечалось выше, точное значение длины (текущее положение центра экрана относительно начала и конца линейки) выводится в информационной строке над чертежом.

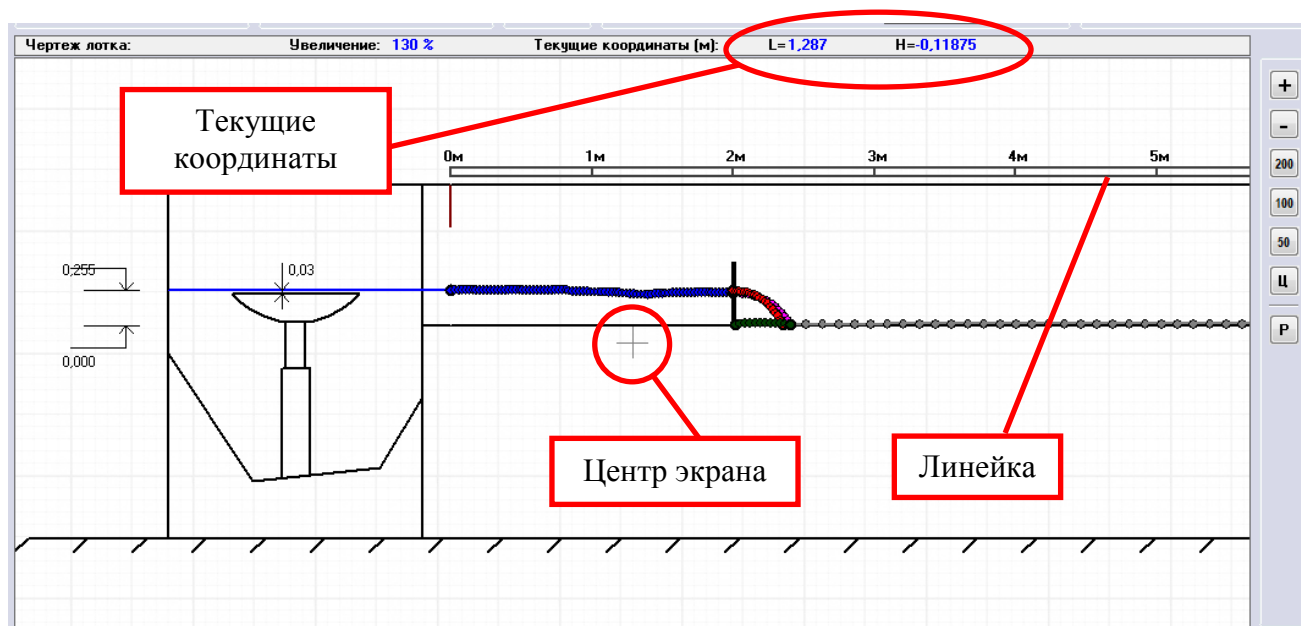


Рисунок 24 – Изображение горизонтальной линейки на чертеже

2.3. Общее описание редактора точек кривых свободной поверхности

Построение кривых свободной поверхности осуществляется в специальном редакторе точек. Вызов окна редактора точек осуществляется либо кнопкой «Р» на панели быстрого доступа, либо аналогичной кнопкой на верхней панели инструментов (рисунок 25). Одинарным щелчком левой кнопки мыши по одной из указанных кнопок открывается окно редактора точек (рисунок 26).

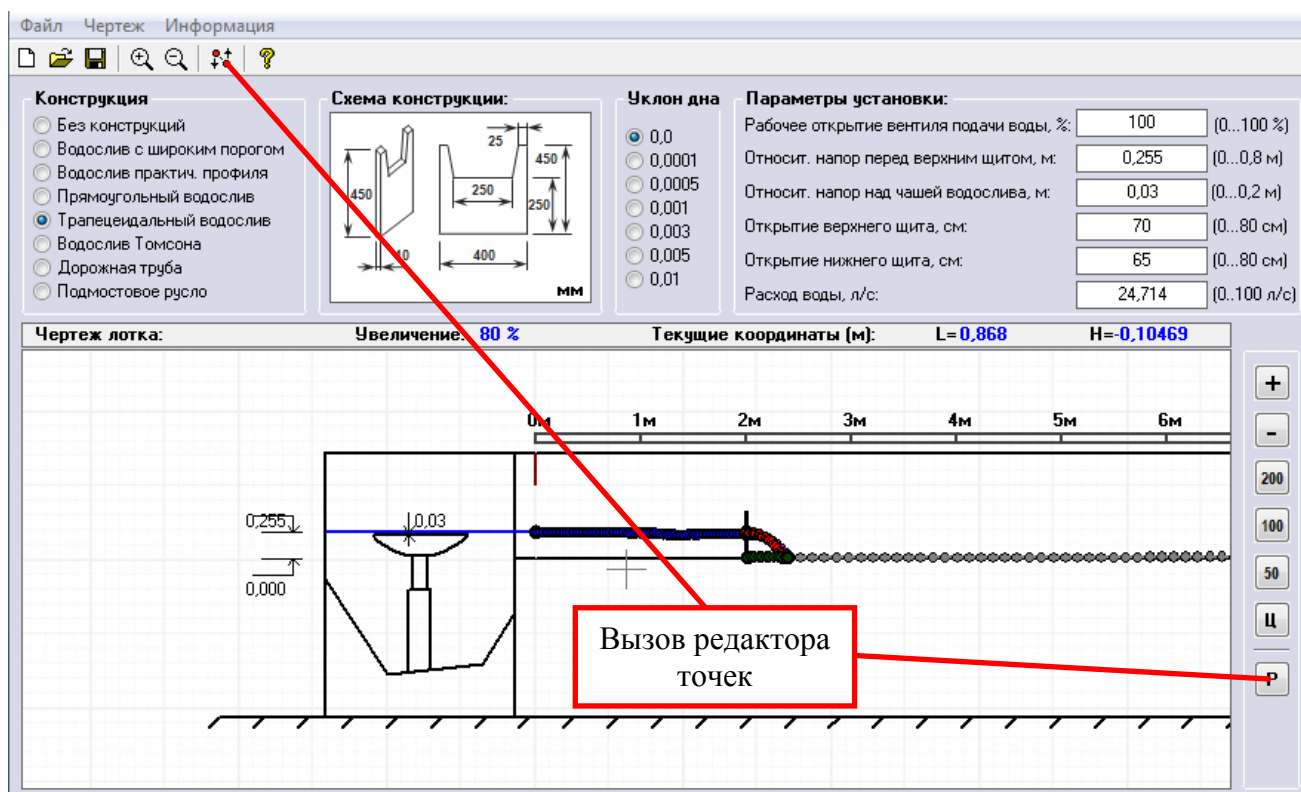


Рисунок 25 – Кнопки вызова редактора точек

Окно редактора точек располагается поверх остальных окон, что дает возможность одновременной работы как с инструментами редактирования координат точек, так и с чертежом. Размер окна редактора точек имеет фиксированную ширину (даже при разворачивании окна на весь экран). Интерфейс окна разделен на две части. В левой части окна расположены электронные таблицы с координатами (L, H) точек кривых, а также, легенда с цветовым обозначением линий на чертеже. В правой части окна расположены панели со вспомогательными инструментами редактирования координат, а также справочной информацией по конкретным участкам потока. Прокрутка панелей и таблиц осуществляется скроллом мыши (в случае, если данный элемент управления активен), или же с помощью полос прокрутки, расположенных сбоку от панели (или таблицы).

Прежде, чем приступить к редактированию координат, необходимо ознакомиться с системой нумерации участков потока. Поскольку данный редактор имитационных моделей ориентирован, прежде всего, на подготовку файлов моделей для трехмерного симулятора, понятие кривой свободной

поверхности рассматривается в пространственном понимании. Другими словами, кривые свободной поверхности, рассчитанные в данном редакторе, построенные на чертеже в двумерной системе координат, являются проекциями пространственных поверхностей. Ввиду последнего замечания в программе используется термин «поверхность», вместо термина «кривая».

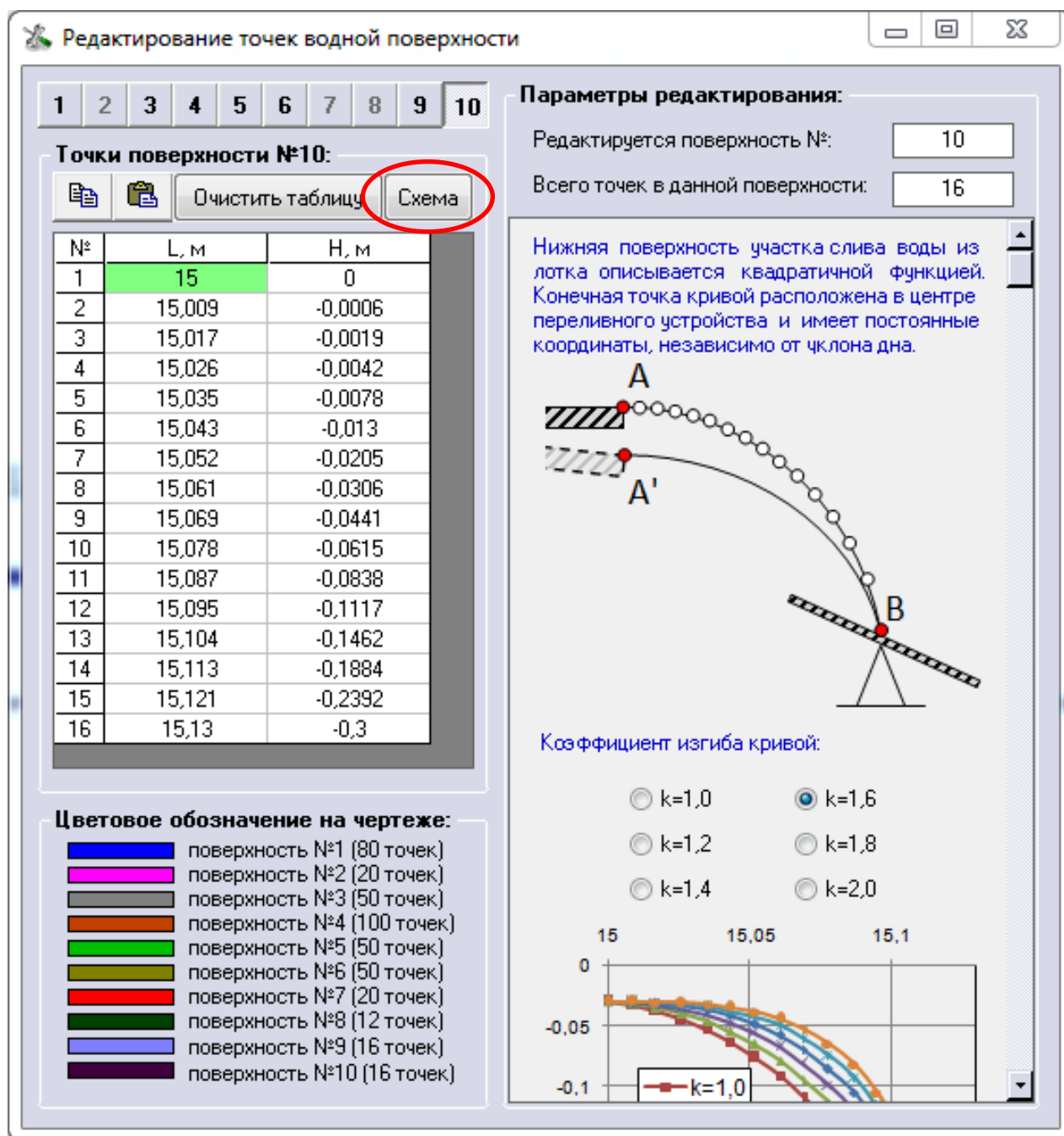
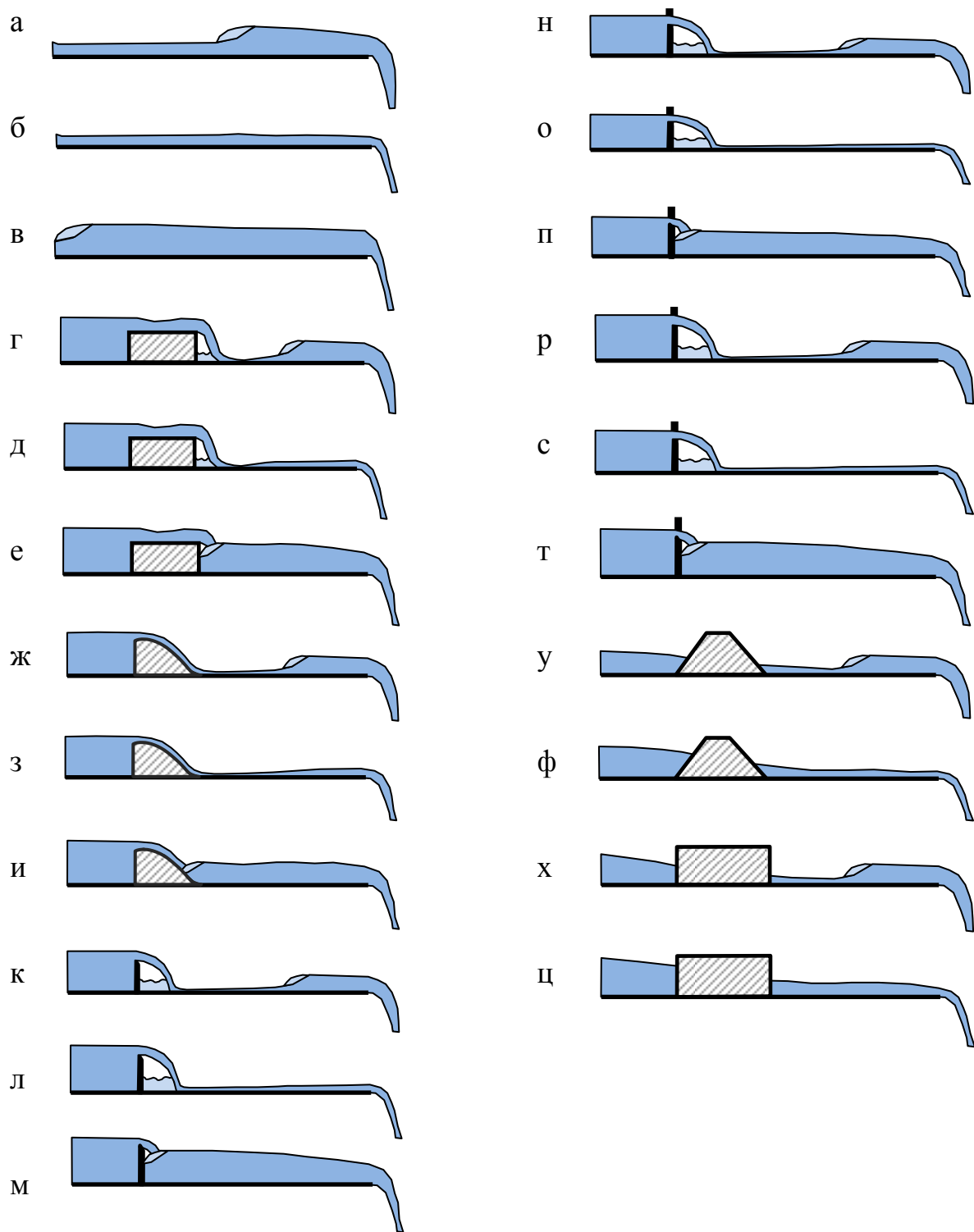


Рисунок 26 – Окно редактора точек

Для 8 вариантов лотка (7 конструкций и варианта без конструкций) предусмотрены различные ситуации формирования модели потока. Кроме того, в каждой модели предусмотрены дополнительные варианты, зависящие от наличия гидравлического прыжка. В общем виде реализуемые ситуации представлены на рисунке 27.



без конструкций: прыжок на расстоянии (а), прыжок отсутствует (б), подтопление верхнего затвора (в); **водослив с широким порогом:** прыжок на расстоянии (г), прыжок отсутствует (д), подтопление водослива (е); **водослив практического профиля:** прыжок на расстоянии (ж), прыжок отсутствует (з), подтопление водослива (и); **прямоугольный водослив:** прыжок на расстоянии (к), прыжок отсутствует (л), подтопление водослива (м); **трапецидальный водослив:** прыжок на расстоянии (н), прыжок отсутствует (о), подтопление водослива (п); **водослив Томсона:** прыжок на расстоянии (р), прыжок отсутствует (с), подтопление водослива (т); **дорожная труба:** прыжок на расстоянии либо подтопление (у), прыжок отсутствует (ф); **подмостовое русло:** прыжок на расстоянии (х), прыжок отсутствует (ц)

Рисунок 27 – Типы реализуемых имитационных моделей потока

Модель потока разбивается на отдельные поверхности. Всего доступно для редактирования 10 поверхностей. В зависимости от сложности модели в конкретной ситуации используется разное количество поверхностей. В общем виде совокупность поверхностей представлена на рисунке 28. Данную схему можно открыть в редакторе точек (на рисунке 26 красным цветом обведена кнопка «Схема»).

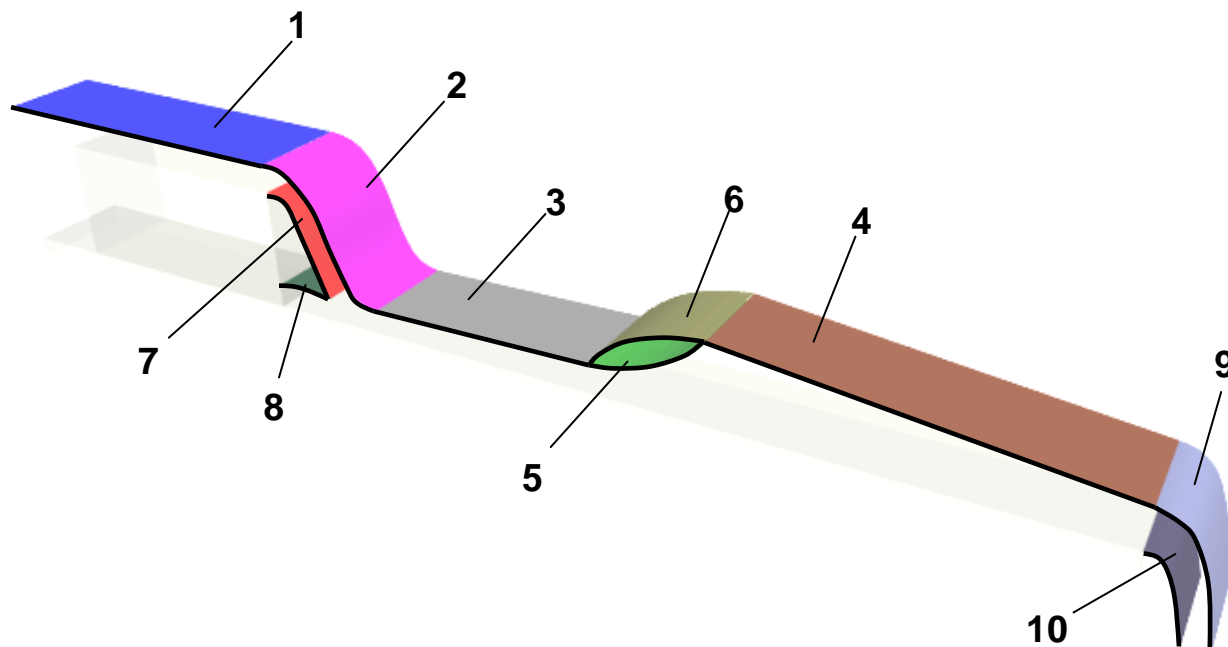


Рисунок 28 – Схема нумерации поверхностей

Конфигурация гидравлического прыжка задается в последнем блоке главного окна программы (рисунок 29). Допускается по три общих случая для каждого типа выбранной конструкции (см. рисунок 27). Для конструкций дорожной трубы и подмостового русла допускаются две конфигурации гидравлического прыжка (либо прыжок есть, либо прыжок отсутствует).

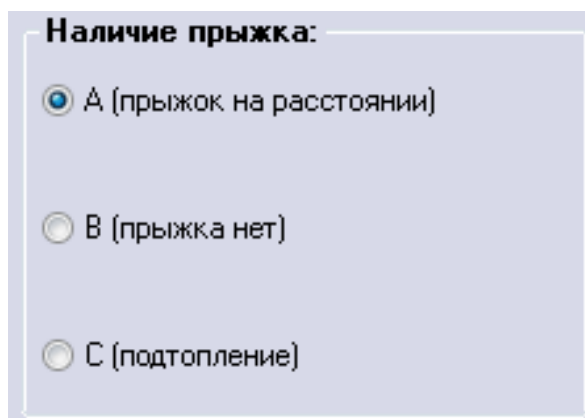


Рисунок 29 – Переключатели положения гидравлического прыжка

2.4. Способы изменения координат точек поверхностей

Координаты точек поверхностей L и H хранятся в электронных таблицах окна редактора точек. Над таблицами расположен блок кнопок-переключателей индексов поверхностей (рисунок 30). В зависимости от заданной конфигурации потока некоторые кнопки-переключатели могут быть заблокированными (в случае, если конкретная поверхность в модели не используется). Кликая левой кнопкой мыши по кнопкам-переключателям, можно переключать номер текущей редактируемой поверхности.

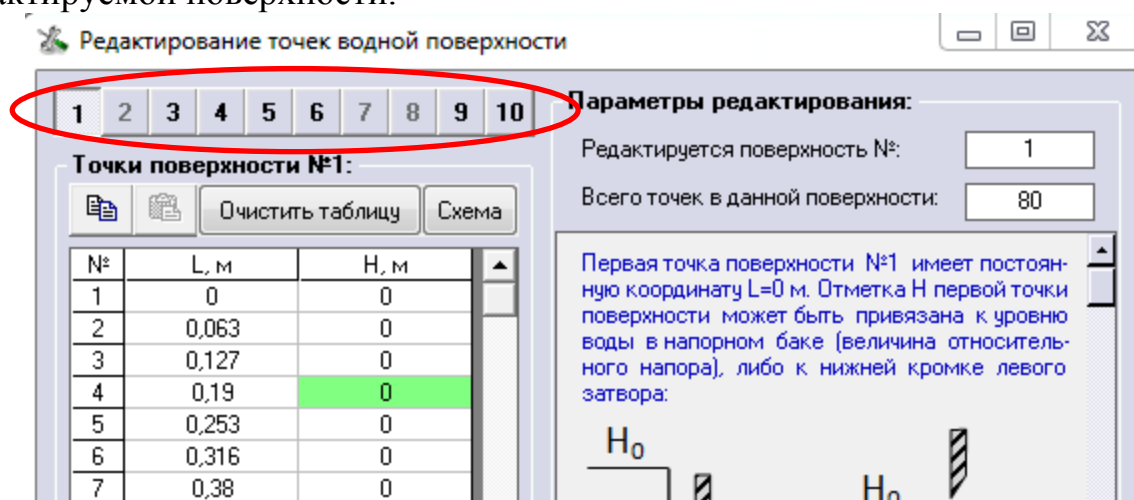




Рисунок 30 – Кнопки-переключатели индексов редактируемых поверхностей

Ниже под блоком кнопок-переключателей расположены 4 функциональные кнопки – «копировать» , «вставить» , «очистить таблицу» и «схема» (о ней говорилось ранее). Кнопка «копировать» осуществляет операцию копирования всего содержимого текущей таблицы в буфер обмена. Скопированные данные можно вставить во внешней программе, например, редакторе Microsoft Excel. Следует учесть, что для вставки понадобится ровно такое же количество строк и столбцов (2 столбца – для координат L и H). Кнопка «вставить» осуществляет операцию вставки данных из буфера обмена в электронную таблицу редактора точек. Кнопка «очистить таблицу» удаляет содержимое ячеек текущей таблицы (в том случае, если координаты точек не рассчитываются автоматически по заданной функции). Работа с данными кнопками представляет собой **первый способ** изменения координат, а именно, использование внешнего редактора.

Второй способ изменения координат точек предполагает ввод данных в таблицы напрямую с клавиатуры. Для начала ввода кликните левой кнопкой мыши по нужной ячейке (ячейка отобразится зеленым цветом) и осуществите ввод числового значения. Программа автоматически фильтрует вводимую с клавиатуры информацию, исключая синтаксические ошибки ввода. Введенное число автоматически преобразуется в нужный числовой формат, предполагающий один разделитель целой и дробной частей (символ запятой). Если в ячейке уже содержится число, ввод символов с клавиатуры продолжит

ввод новых символов в конец числа. Нажатие на клавишу «минус» добавляет символ минуса в начало числа. Нажатие на клавишу «плюс» удаляет символ минуса из ячейки. Данная опция удобна при быстром изменении знака числа. Для редактирования доступны только те ячейки, содержимое которых не рассчитывается автоматически.

В программе реализована функция автоматической стыковки поверхностей между собой. Исключена возможность разрыва модели потока по длине. Информация о стыковке поверхностей представлена в правой части окна редактора точек.

Первая точка поверхности №1 имеет постоянную координату $L = 0$ м. Отметка H первой точки поверхности может быть привязана к уровню воды в напорном баке (к величине относительного напора перед щитом), либо к нижней кромке левого затвора (рисунок 31). Вторая ситуация применима в случае моделирования процесса истечения потока из-под щита.

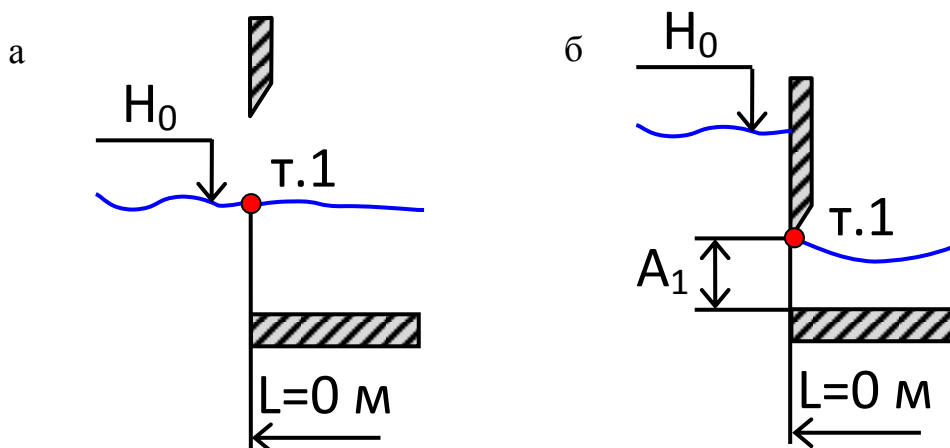


Рисунок 31 – Схема привязки первой точки поверхности №1: привязка к уровню воды в напорном баке (а), привязка к кромке верхнего затвора (б)

Таким образом, координаты L и H первой точки поверхности №1 рассчитываются автоматически. Ввод данных с клавиатуры в первую строку таблицы №1 (либо вставка значений из редактора Excel) невозможен. Переключение режима привязки первой точки осуществляется специальной кнопкой-переключателем на панели справа (рисунок 32).

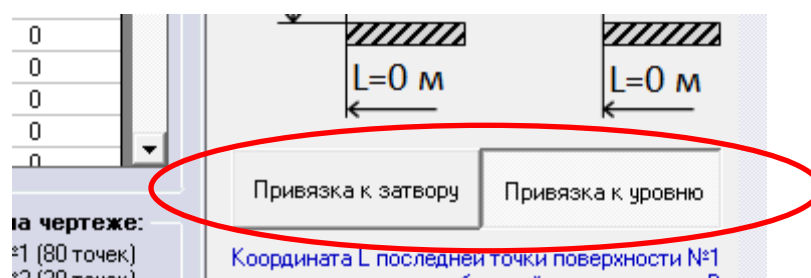


Рисунок 32 – Кнопки переключения режима привязки первой точки поверхности №1

Координата L последней точки поверхности №1 зависит от типа выбранной конструкции. В случае водослива с широким порогом, последняя точка поверхности размещается над правым краем конструкции водослива (рисунок 33. а). В случае водослива практического профиля (рисунок 33. б), а также, водосливы с тонкой стенкой (рисунок 33. в), последняя точка поверхности располагается над левым краем конструкции.

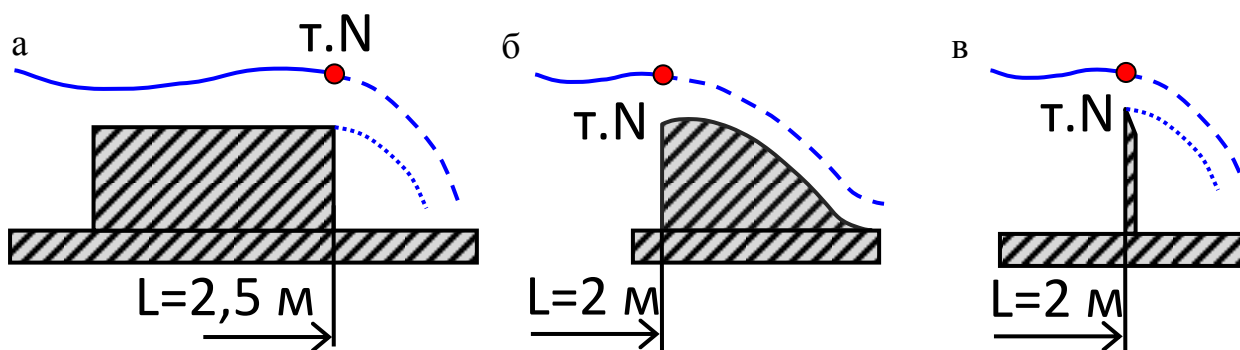


Рисунок 33 – Схема привязки последней точки поверхности №1: в случае водослива с широким порогом (а), водослива практического профиля (б) и водосливы с тонкой стенкой (в)

В случае установки в лоток конструкций дорожной трубы и подмостового русла, а также, в случае отсутствия модели лотка без конструкций, координата L последней точки поверхности №1 не имеет привязки (задается пользователем).

Далее под схемами привязки начальной и конечной точек поверхности №1 следуют 4 функциональные кнопки (рисунок 34). Данные функции являются вспомогательными и предназначены для распределения координат промежуточных точек на участке. Первая функциональная кнопка распределяет точки вдоль оси L (от первой точки поверхности до последней) с равным шагом. Вторая функция позволяет распределить первые 15 точек с шагом 1 см, а остальные равномерно по оставшейся длине. Данная функция может быть полезной при моделировании истечения из-под щита, где на начальном участке поверхности требуется отобразить сжатое сечение на некотором расстоянии от щита.

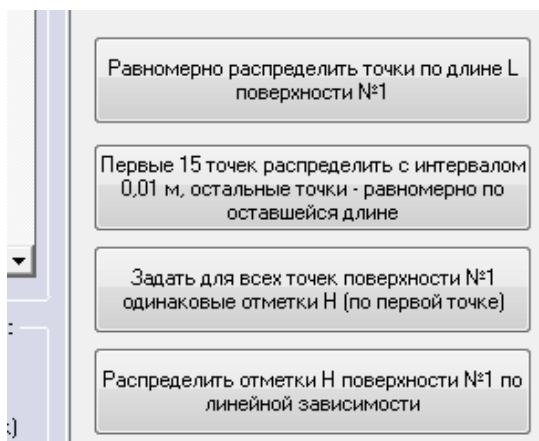


Рисунок 34 – Вспомогательные функции изменения координат точек поверхности №1

Третья функция задает равный уровень H всех точек поверхности №1 по уровню первой точки. Последняя функция распределяет точки по линейному закону (от первой точки поверхности до последней).

Использование вспомогательных функций представляет собой **третий способ** изменения координат. О функциональном задании координат точек полиномиальной функцией речь пойдет позже.

Отметка H последней точки поверхности №1 определяет величину напора воды на кромке водослива. Для трапецеидального водослива и водослива Томсона существует неформальное ограничение данной величины. Величина отметки последней точки поверхности №1 для данных конструкций должна быть не более $0,45$ м. Данное ограничение связано с решением пространственной задачи изменения формы потока в трехмерном симуляторе. В случае превышения величины $0,45$ м на водосливе габариты потока выйдут за пределы лотка по ширине. При соблюдении условия $0,25 < H_{N1} \leq 0,45$ форма потока по ширине лотка конфигурируется с учетом формы выреза водослива (рисунок 35).

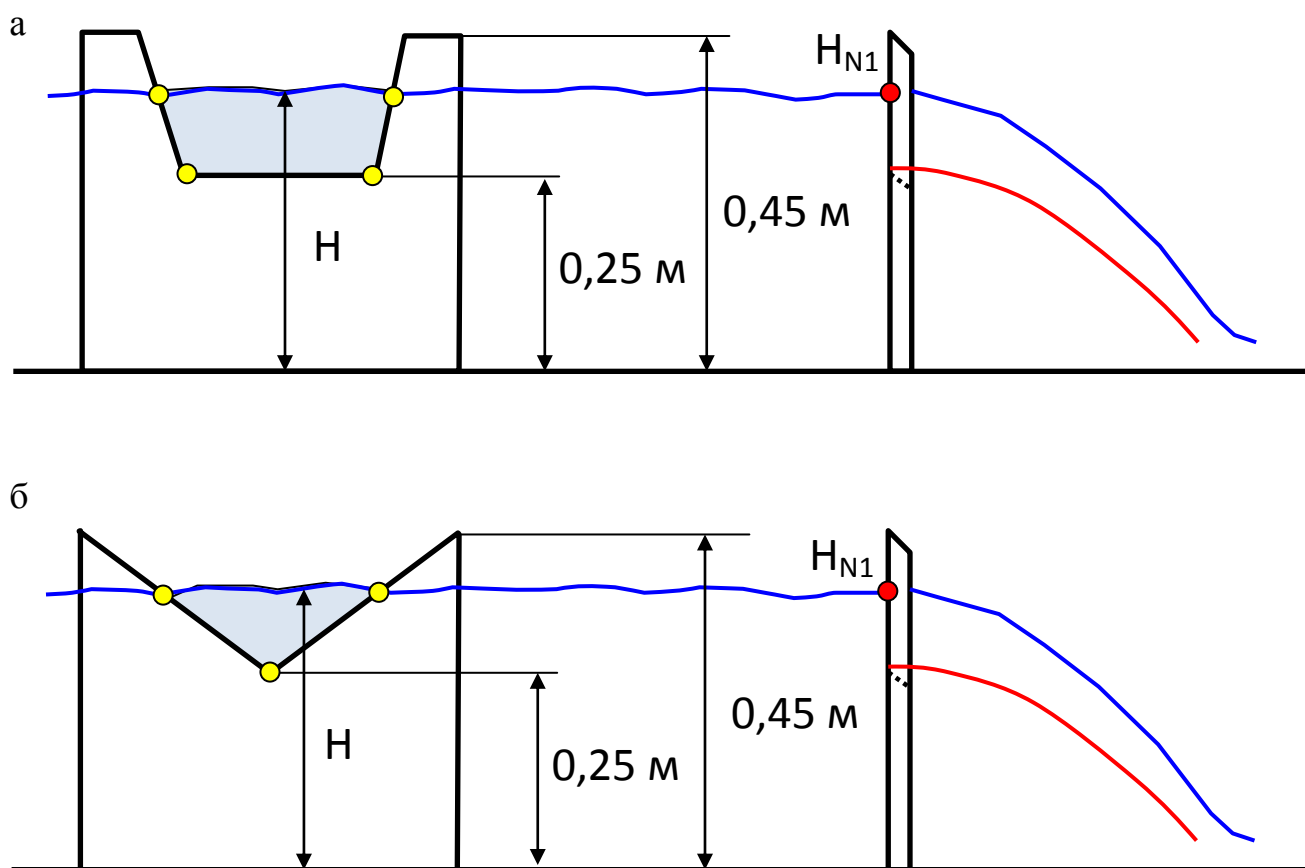


Рисунок 35 – Определение формы сечения потока на водосливе: в случае трапецеидального водослива (а) и водослива Томсона (б)

Поверхность №1 не используется в модели только в одном случае – в ситуации подтопленного щита (рисунок 27. в). Поверхность №2 следует сразу за поверхностью №1, и используется в случае моделирования водосливов (верхняя

поверхность потока воды на водосливе). Первая точка поверхности №2 во всех случаях привязана к последней точке поверхности №1 (рисунок 36).

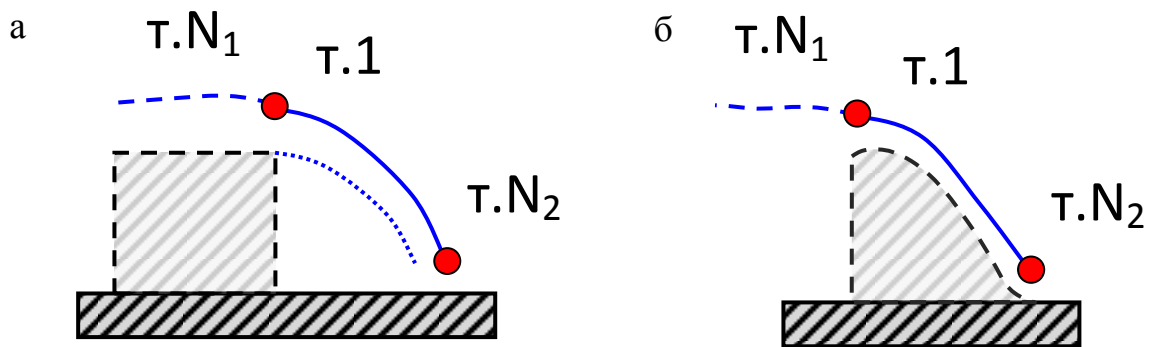


Рисунок 36 – Схема привязки первой точки поверхности №2: в случае водослива с широким порогом (а) и водослива практического профиля (б)

Координаты последней точки поверхности №2 задаются пользователем исходя из гидравлических расчетов (рисунок 37). Данная точка характеризует сжатую глубину потока после водослива.

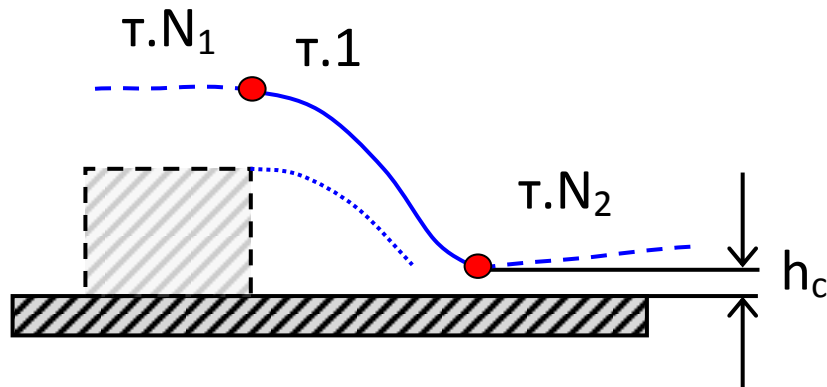


Рисунок 37 – Схема расположения последней точки поверхности №2

Далее под схемами привязки начальной точки поверхности №2 следует функциональная кнопка равномерного распределения точек по длине поверхности, а также опция «задать произвольной функцией» (рисунок 38).

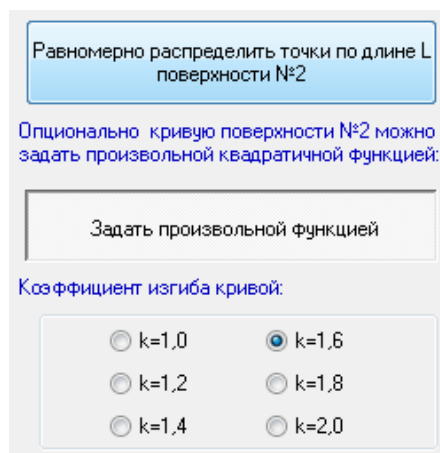


Рисунок 38 – Вспомогательные функции изменения координат точек поверхности №2

Опция «задать произвольной функцией» предполагает описание формы проекции поверхности №2 квадратичной функцией с определенным коэффициентом изгиба параболы. Использование данной опции не предполагает научного обоснования с позиции законов гидравлики, а используется лишь для тестирования или приближенного описания формы потока на водосливе. На выбор пользователя предоставляются 6 значений коэффициента изгиба кривой (рисунок 39).

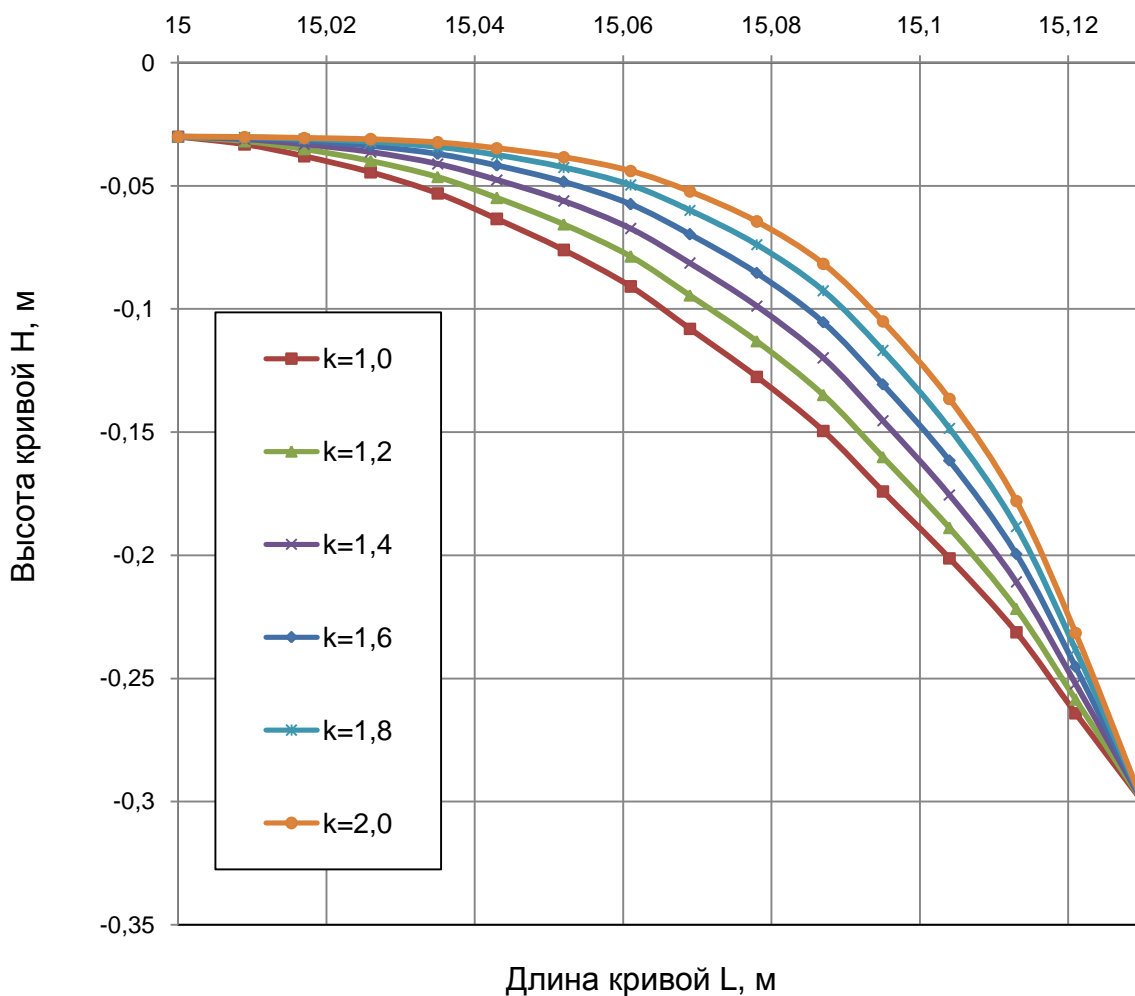


Рисунок 39 – Формы параболы при различном значении коэффициента изгиба (k)

Поверхность №3 следует за поверхностью №2 (в случае наличия водослива) или поверхностью №1 (в случае лотка без конструкций или конструкций дорожной трубы и подмостового русла). В зависимости от установленной конструкции (или ее отсутствия), первая точка поверхности №3 привязывается к последней точке поверхности №1 (рисунок 40. а) или №2 (рисунок 40. б). Для всех конструкций водосливов (1-5) первая точка поверхности №3 всегда привязывается к последней точке поверхности №2.

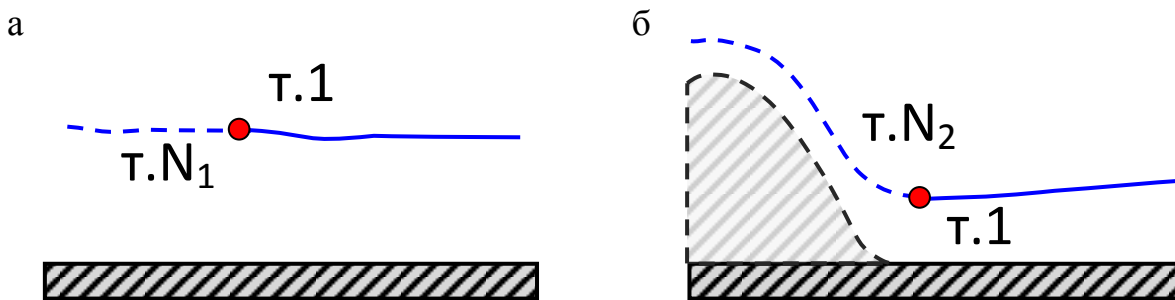


Рисунок 40 – Схема привязки первой точки поверхности №3: к поверхности №1 (а) и поверхности №2 (б)

Положение последней точки поверхности №3 задается пользователем исходя из гидравлических расчетов. В случае наличия в пределах лотка гидравлического прыжка (ситуация А), данная точка характеризует начало прыжка (рисунок 41. а). При отсутствии гидравлического прыжка (ситуация В) конечная точка поверхности №3 служит началом поверхности №4 (рисунок 41. б).

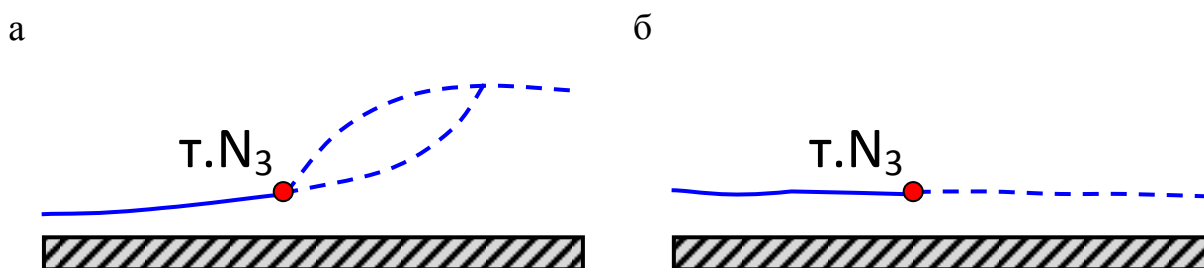


Рисунок 41 – Схема расположения последней точки поверхности №3: при наличии гидравлического прыжка (а) и при его отсутствии (б)

Далее под схемами положения начальной и конечной точек поверхности №3 следуют две стандартные функциональные кнопки (рисунок 42).

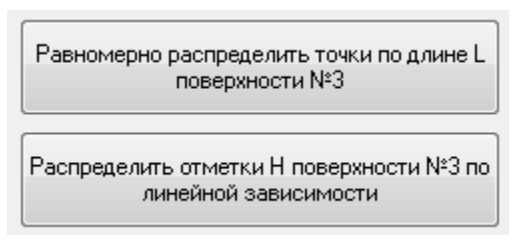


Рисунок 42 – Вспомогательные функции изменения координат точек поверхности №3

Поверхность №4 следует за поверхностью №3 (в случае, если гидравлический прыжок отсутствует) или поверхностью №5 (в случае наличия гидравлического прыжка). Если прыжок присутствует (ситуация А или С), первая точка поверхности №4 задается пользователем исходя из гидравлических расчетов. Данная точка характеризует окончание прыжка (рисунок 43).

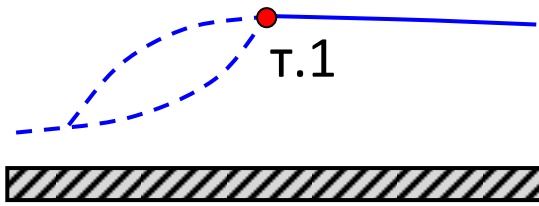


Рисунок 43 – Положение первой точки поверхности №4 при наличии гидравлического прыжка

Если прыжок отсутствует (ситуация В), первая точка поверхности №4 автоматически привязывается к последней точке поверхности №3 (рисунок 44).

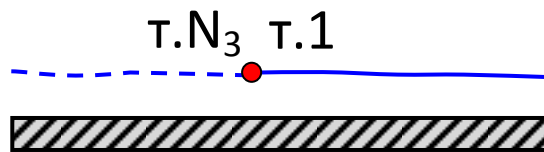


Рисунок 44 – Положение первой точки поверхности №4 при отсутствии гидравлического прыжка

Последняя точка поверхности №4 располагается в конце лотка ($L = 15$ м). Далее под схемами положения начальной точки поверхности №4 следуют две стандартные функциональные кнопки (рисунок 45).

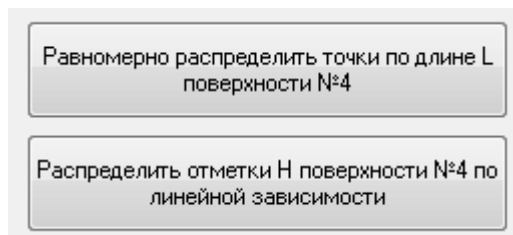


Рисунок 45 – Вспомогательные функции изменения координат точек поверхности №4

Поверхность №5 (нижняя поверхность вальца) отображается при наличии гидравлического прыжка в лотке (ситуации А и С). Кривая поверхности №5 строится автоматически полиномиальной функцией третьего порядка без возможности редактирования коэффициентов полинома. В случае ситуации А (прыжок на расстоянии от конструкции или верхнего щита), первая точка поверхности привязана к последней точке поверхности №3, а последняя точка поверхности №5 привязана к первой точке поверхности №4 (рисунок 46).

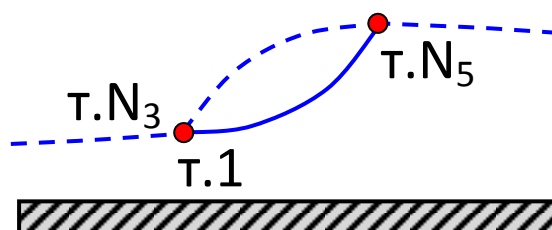


Рисунок 46 – Положение крайних точек поверхности №5

В случае С (подтопление) положение первой точки поверхности №5 задается пользователем на основании гидравлических расчетов. Предполагаются две ситуации: подтопление верхнего затвора (валец перекрывает левый щит) и подтопление конструкции водослива (валец перекрывает правый край водослива). Данные ситуации проиллюстрированы на рисунке 47.

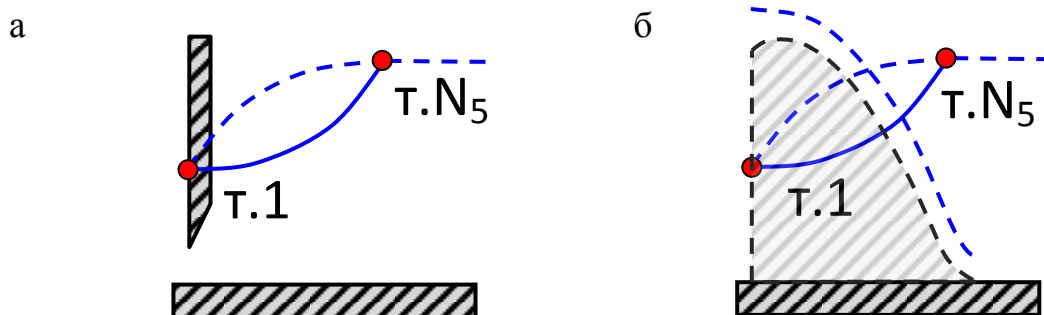


Рисунок 47 – Построение нижней поверхности прыжка в случае подтопления: верхнего затвора (а) и водослива (б)

Поверхность №6 (верхняя поверхность вальца) строится аналогичным образом. Начало и конец поверхности №6 привязываются к началу и концу поверхности №5 (рисунок 48).

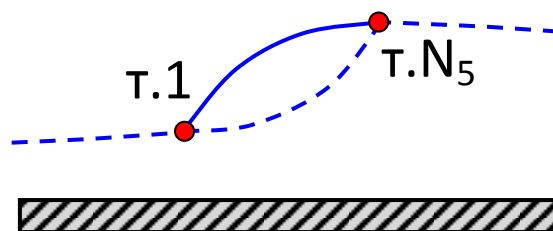


Рисунок 48 – Положение первой и последней точек поверхности №6

Координаты точек поверхностей №5 и №6 не подлежат редактированию.

Построение профиля поверхности №7 аналогично построению профиля поверхности №2. Данная поверхность описывает низ потока на водосливе (в случае всех водосливов, кроме водослива практического профиля, где отсутствует отрыв струи от поверхности водослива). Первая точка поверхности №7 привязана к кромке водослива (рисунок 49).

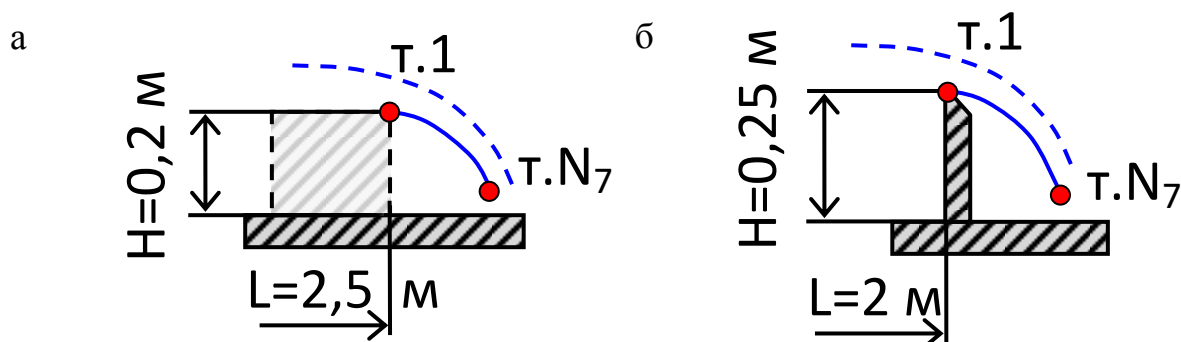


Рисунок 49 – Положение первой точки поверхности №7 в случае водослива с широким порогом (а) и водосливов с тонкой стенкой (б)

Отметка последней точки поверхности №7 соответствует отметке последней точки поверхности №2 (рисунок 50).

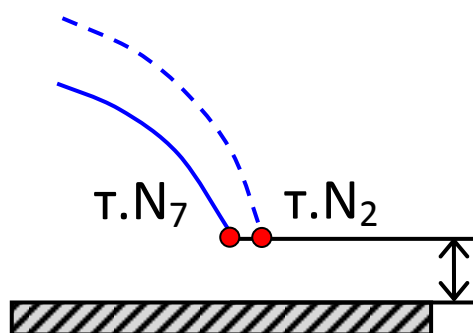


Рисунок 50 – Отметка последней точки поверхности №7

Форму поверхности №7 также можно задать произвольной квадратичной функцией (по аналогии с поверхностью №2), задав соответствующий коэффициент изгиба кривой.

Первая точка поверхности №8 (поверхности воды под струей водослива) привязана к правому краю конструкции водослива. Привязка последней точки поверхности №8 зависит от типа водослива. Для водослива с широким порогом и прямоугольного водослива с тонкой тсенкой данная точка привязывается к последней точке поверхности №7 (рисунок 51. а). В остальных случаях привязка осуществляется к последней точке поверхности №2 (рисунок 51. б).

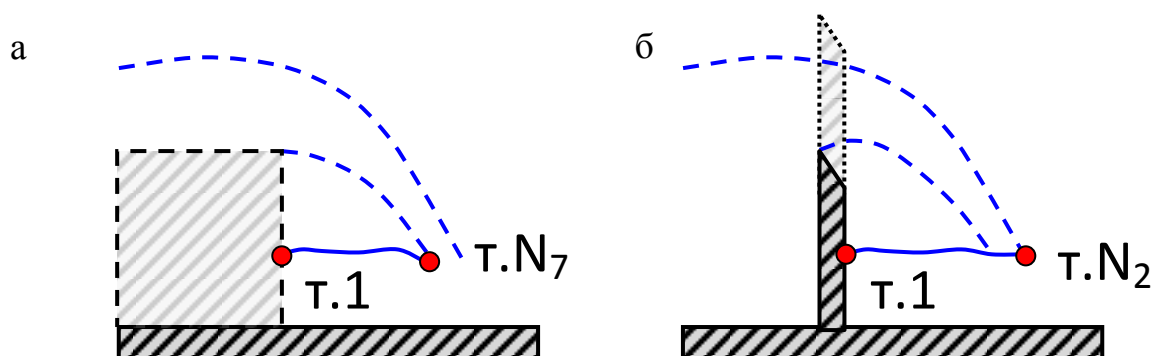


Рисунок 51 – Привязка последней точки поверхности №8: к поверхности №7 (а) и поверхности №2 (б)

Далее под схемами положения крайних точек поверхности №8 следуют две стандартные функциональные кнопки (рисунок 52).

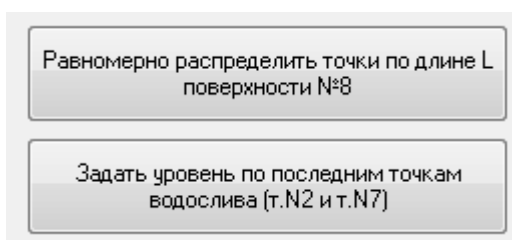


Рисунок 52 – Вспомогательные функции изменения координат точек поверхности №8

Поверхности №9 и №10 описывают поток сливающейся из лотка воды. На данном участке потока не производится никаких измерений, следовательно, отсутствует строгая необходимость научного обоснования формы потока с позиции гидравлических зависимостей, однако, существует конструктивное требование к положению конечных точек поверхностей во избежание пересечения поверхностей потока с конструкцией переливного устройства в расходомерном баке. На рисунке 53 обозначены фиксированные длины L и отметки H конечных точек поверхностей №9 и №10 при нулевом уклоне лотка.

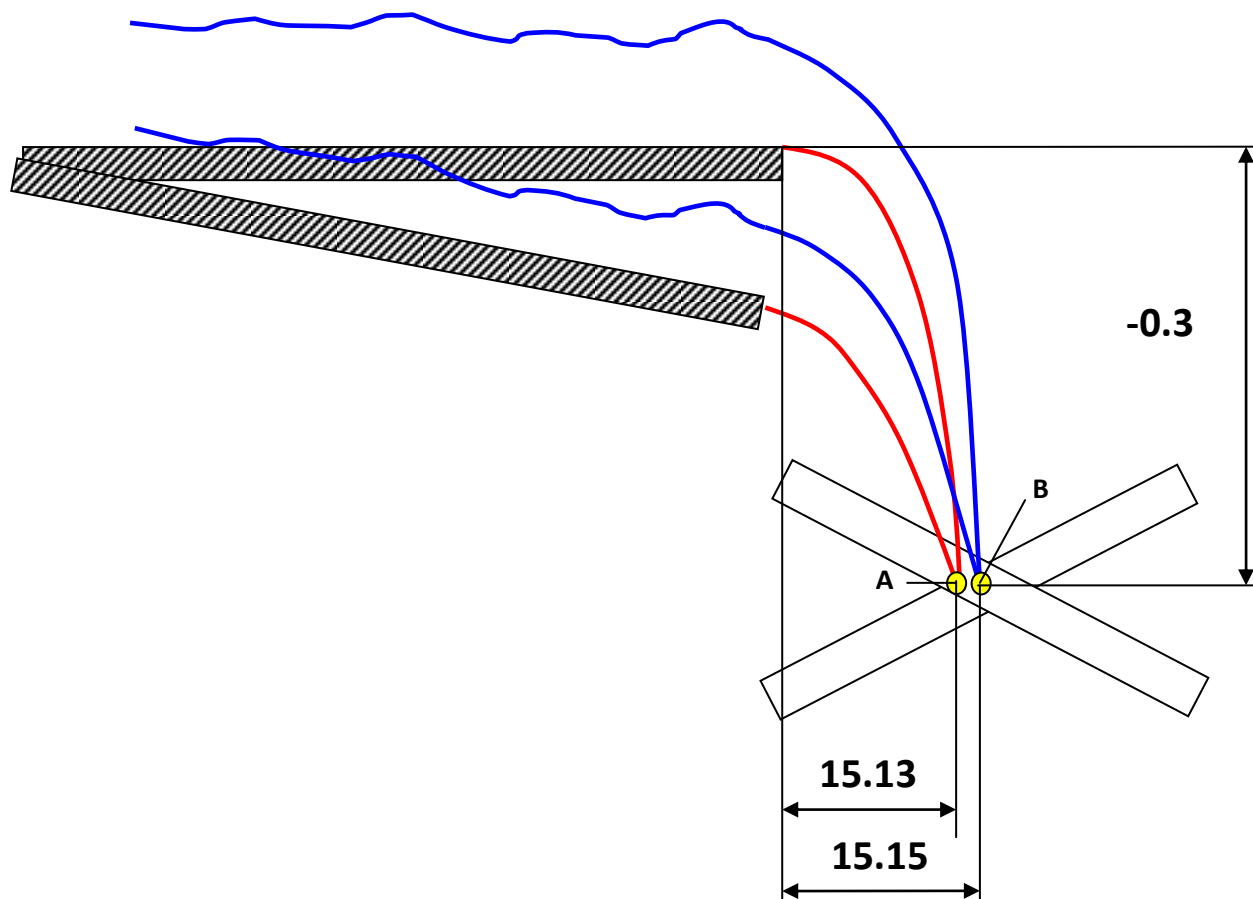


Рисунок 52 – Привязка конечных точек поверхностей №9 и №10 к конструкции переливного устройства в расходомерном баке

Ввиду обозначенного требования форма кривых поверхностей №9 и №10 задается автоматически квадратичной функцией. Пользователем может быть задан коэффициент изгиба кривой по аналогии с поверхностями №2 и №7. В случае поверхности №9 (верхней поверхности сливающегося потока) начальная точка кривой может быть привязана к нижней кромке правого затвора, либо к последней точке поверхности №4 (рисунок 53). Режим привязки задается специальными кнопками-переключателями на правой панели окна редактора точек (в режиме редактирования точек поверхности №9). Первая точка поверхности №10 (нижняя поверхность сливающегося потока) всегда привязана к дну лотка (рисунок 54).

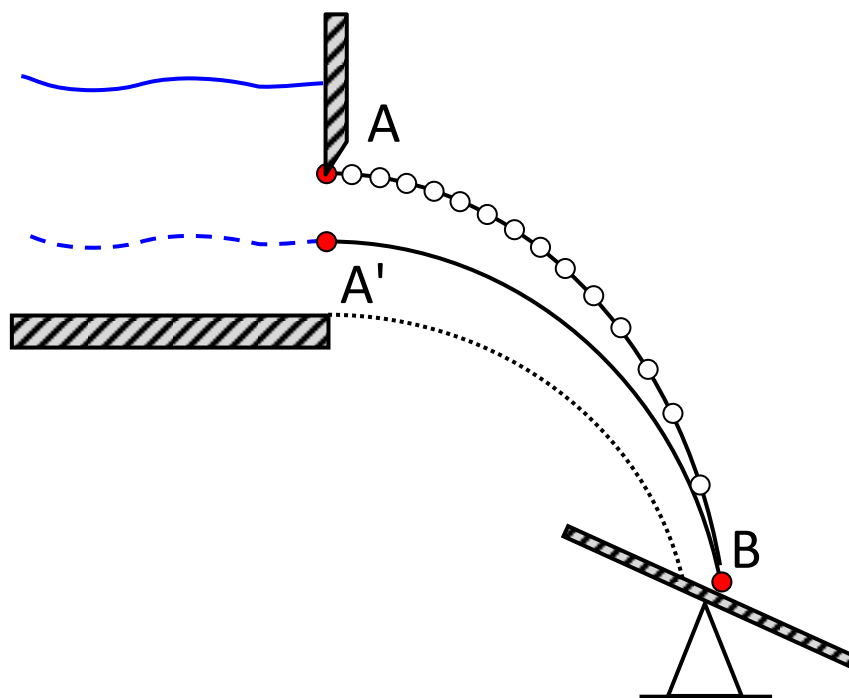


Рисунок 54 – Привязка первой точки поверхности №9

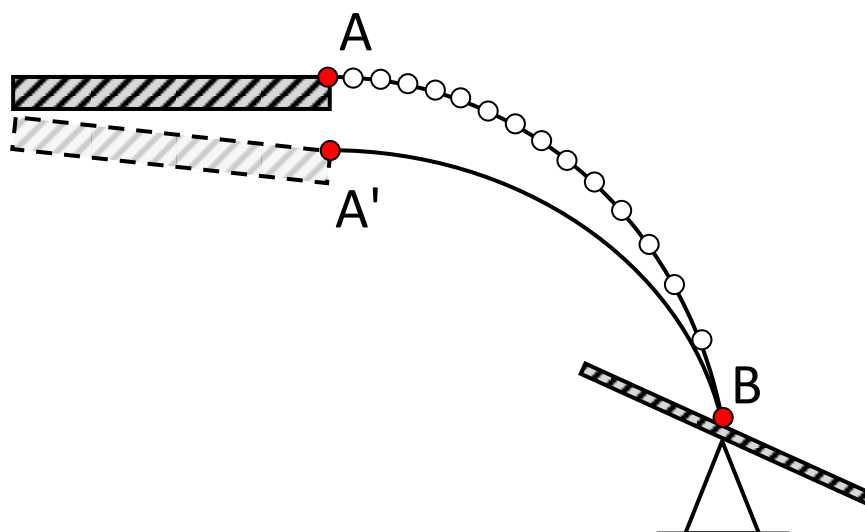


Рисунок 55 – Привязка первой точки поверхности №10

Помимо копирования/вставки данных, ручного ввода координат и использования вспомогательных функций, существует возможность описания формы поверхностей с помощью уравнения полинома третьего порядка. Данная возможность является **четвертым способом** изменения координат точек поверхностей. Четвертым способом можно задавать координаты точек поверхностей №1, №2, №3, №4, №7 и №8. Суть способа заключается в том, что поверхность разбивается на интервалы (максимальное число интервалов для одной поверхности – 3). В каждом интервале задается число входящих в него точек поверхности, и задаются коэффициенты полинома.

Общий вид уравнения полинома третьего порядка следующий:

$$H = A \cdot L^3 + B \cdot L^2 + C \cdot L + D,$$

где H , L – отметка (глубина) и длина точки, м; A , B , C и D – коэффициенты полинома.

Если коэффициент $A = 0$, полином приобретает вторую степень. Если $A = 0$ и $B = 0$, описываемая функция линейна. Если $A = 0$, $B = 0$ и $C = 0$, отметки всех точек интервала одинаковые ($H = D$).

Настройка интервалов осуществляется в нижней части панели параметров конкретной поверхности (рисунок 56).

Задать число функциональных интервалов на данном участке:

3

$H=A \cdot L^3+B \cdot L^2+C \cdot L+D$

Интервал 1:

L: от 0 до 5 м

A= 0 B= 0

C= 0 D= 0

Число точек в инт.: 80

Задать функцию

Интервал 2:

L: от 5 до 5 м

A= 0 B= 0

C= 0 D= 0

Число точек в инт.: 0

Задать функцию

Интервал 3:

L: от 5 до 5 м

A= 0 B= 0

C= 0 D= 0

Число точек в инт.: 0

Задать функцию

Рисунок 56 – Поля настройки для ввода параметров полиномиальной функции

В верхнем списке задается число интервалов. В зависимости от выбранного количества интервалов блокируются/разблокируются нижеследующие рамки с названием «Интервал». При вводе границ интервалов следует учитывать общую длину поверхности, а также общее количество точек

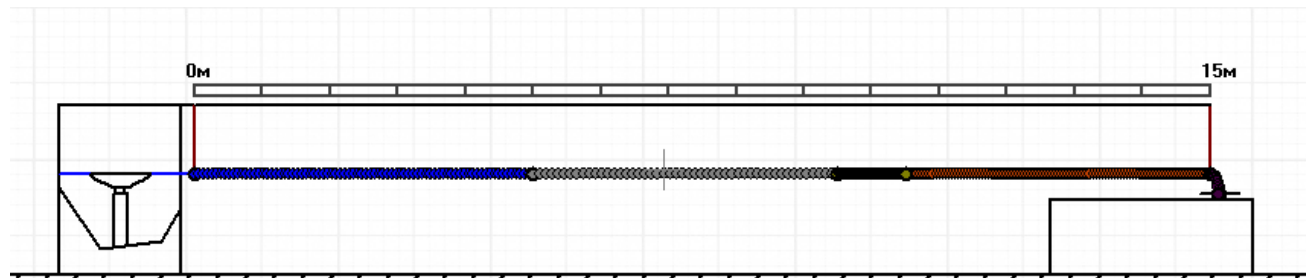
данной поверхности. Поля, содержащие синтаксические и математические ошибки выделяются красным цветом. В случае допущения ошибок кнопка «Задать функцию» для конкретного интервала (на котором допущены ошибки) блокируется. Под допуском синтаксических ошибок предполагается ввод в поля нечисловых значений. Математические ошибки возникают при нарушении интервалов длин (например, правая граница первого интервала больше всей длины поверхности, или меньше левой границы интервала), а также, превышении (относительно общего числа точек) количества точек в одном интервале.

Первая точка интервала 2 имеет длину L последней точки предыдущего (1) интервала. Это же касается и третьего интервала. Если поверхность не разбивается на интервалы (число интервалов на поверхности равно 1) границы интервала и количество точек выставляются автоматически (используется вся длина поверхности и все ее точки).

Если параметры функции введены без ошибок, кнопка «Задать функцию» становится доступной для нажатия. При нажатии на кнопку будет произведен расчет координат по описанному уравнению.

При создании нового проекта или же в момент переключения типов конструкций, а также режимов гидравлического прыжка, программа задает некоторый шаблон распределения точек по длине лотка. К примеру, если кликнуть мышью по переключателю типа конструкции – будет применен определенный шаблон для конкретного типа конструкции, на чертеже будет видно, как распределились точки по длине лотка (рисунок 57).

а



б

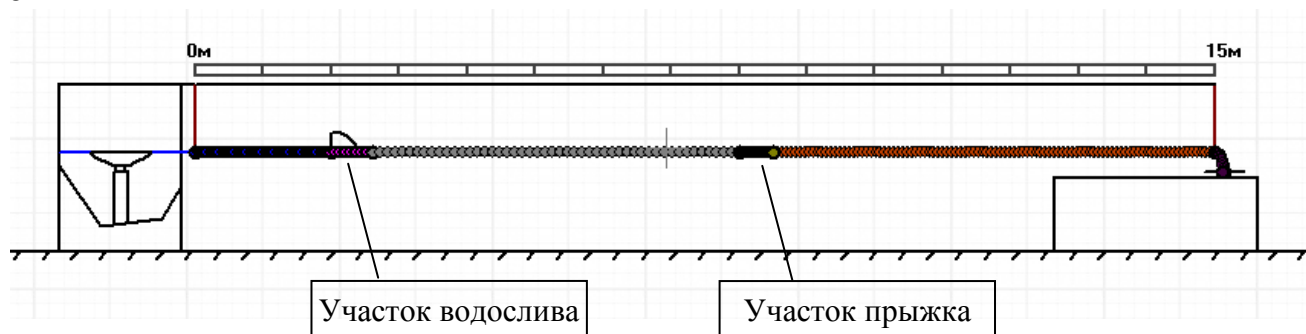


Рисунок 57 – Шаблонное распределение точек по длине лотка: для варианта без конструкций (а), для водослива практического профиля (б)

По завершению редактирования параметров модели проект необходимо сохранить. Кнопки сброса, открытия и сохранения параметров расположены на панели инструментов в верхней части главного окна программы. Кроме того, данные функции дублируются в меню «Файл» (рисунок 58).

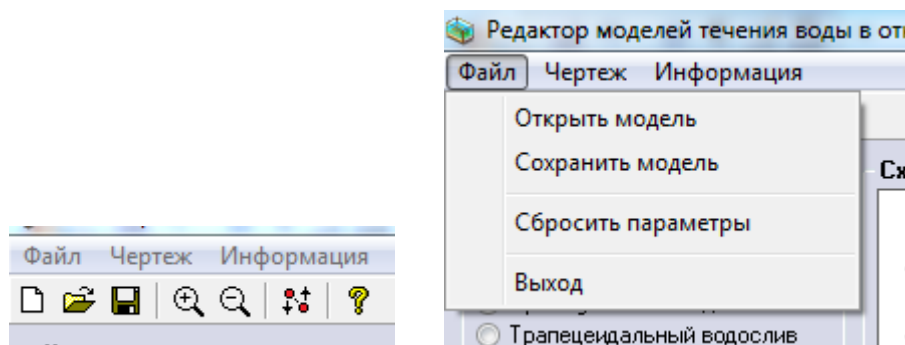
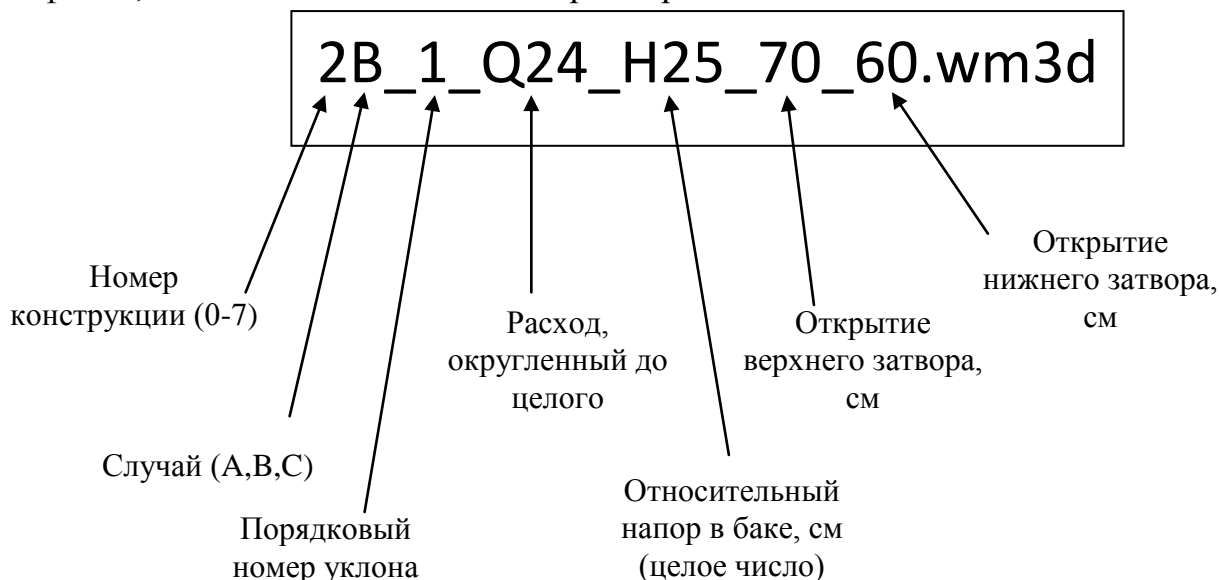


Рисунок 58 – Функции управления проектом

Файл имитационной модели имеет расширение «*.wm3d». Имя файла может быть любым, однако при сохранении проекта рекомендуется задать имя файла, включающее основные параметры модели:



При сбросе, открытии или сохранении файла, а также, при закрытии программы, пользователь подтверждает свое действие посредством диалога подтверждения, в котором упоминается, что **НЕСОХРАНЕННЫЕ** данные будут утеряны (рисунок 59).

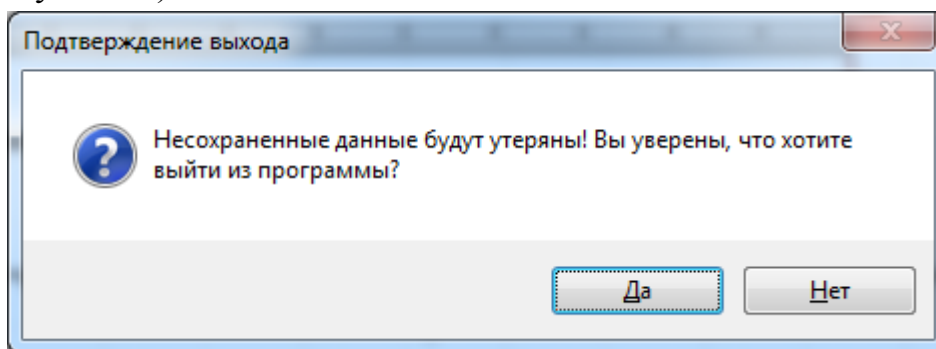


Рисунок 59 – Диалог подтверждения выхода из программы

3. Порядок работы с модулем интерактивной трехмерной визуализации процесса течения воды в открытом русле

Вторым компонентом программного комплекса является непосредственно сам интерактивный симулятор течения воды в открытом русле. Симулятор выполнен в виде трехмерной имитационной программы, обеспечивающей визуальное представление моделей потока воды в гидравлическом лотке.

По завершению процесса загрузки программы в оперативную память компьютера на экране отобразится трехмерная сцена (рисунок 60). В верхней части экрана находятся функциональные кнопки (слева направо): кнопка «Сбросить параметры установки», «Открыть файл модели потока», «Выйти из программы».

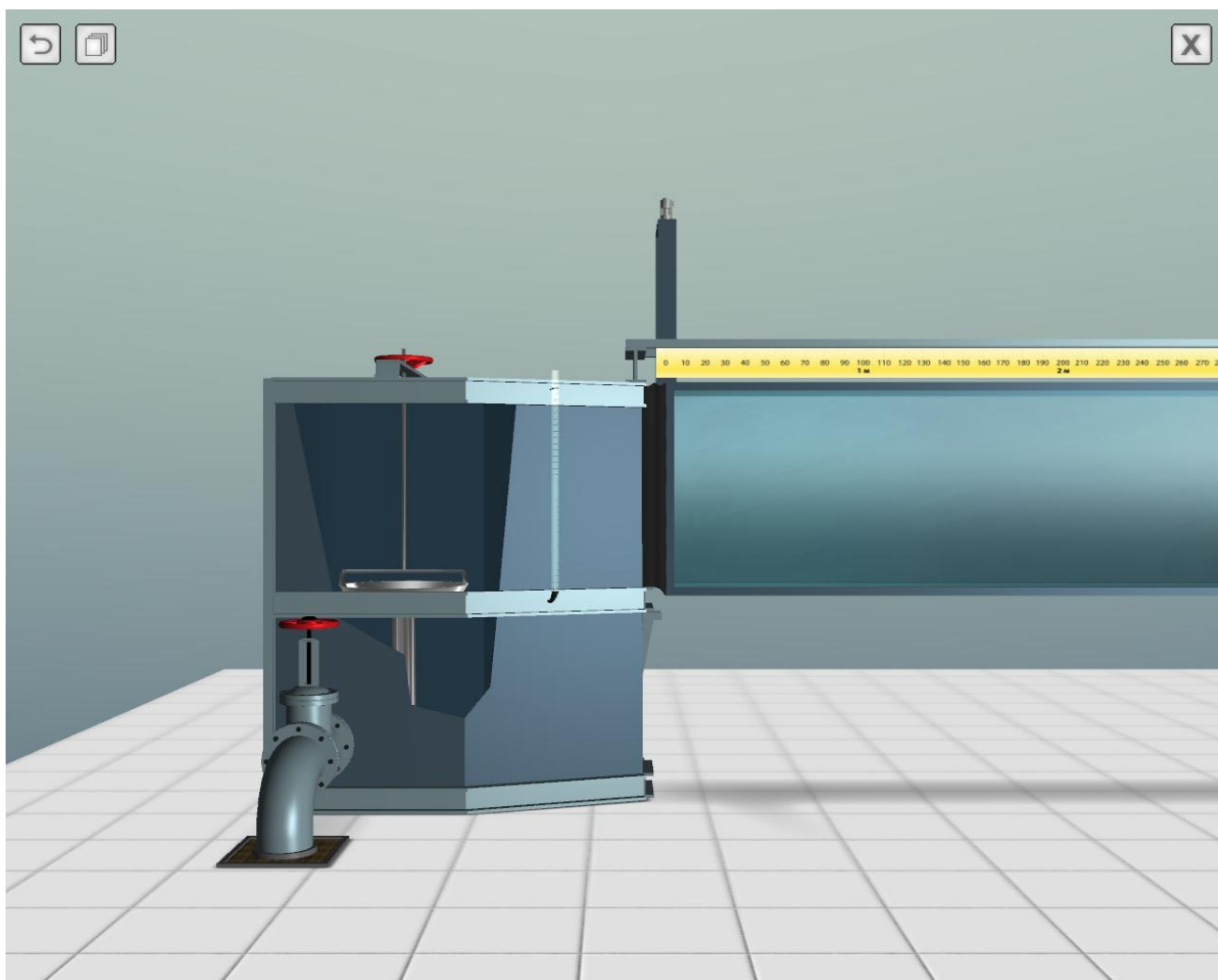


Рисунок 60 – Экран интерактивного трехмерного симулятора «Изучение движения воды в открытом русле»

Перемещение вида (виртуальной камеры) осуществляется с помощью мыши или клавиатуры. Для перемещения вида в плоскости экрана необходимо привести указатель мыши к краям экрана (рисунок 61). Также, перемещение камеры в плоскости экрана можно осуществлять с помощью клавиш курсора (клавиш со стрелками) или текстовых клавиш «W», «A», «S», «D» (рисунок 62).

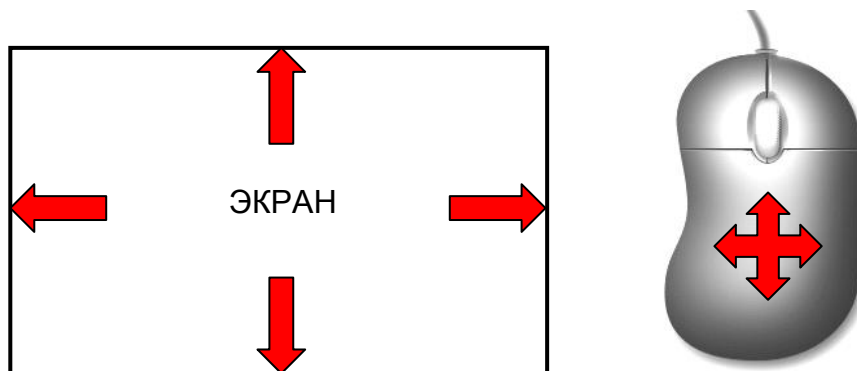


Рисунок 61 – Перемещение виртуальной камеры в плоскости экрана с помощью МЫШИ

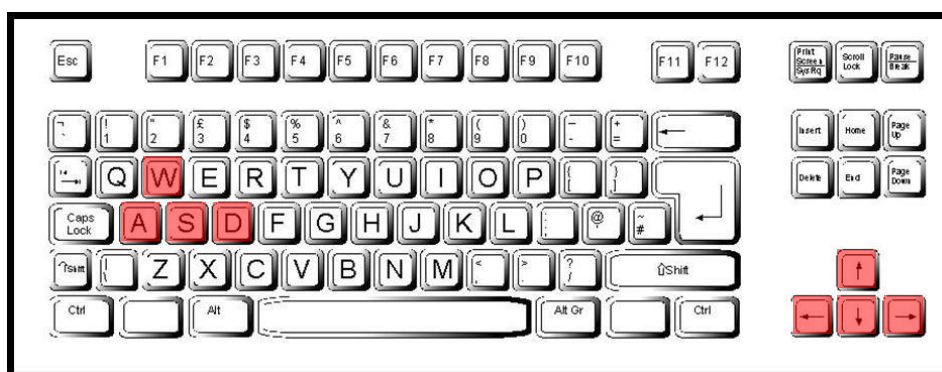


Рисунок 62 – Перемещение виртуальной камеры в плоскости экрана клавишами

Приближение/отдаление виртуальной камеры осуществляется с помощью колеса мыши либо клавишами «+» и «-». Вращение колеса вперед приближает камеру к лабораторному стенду, а вращение колеса в обратную сторону отдаляет камеру от стенда (рисунок 63).

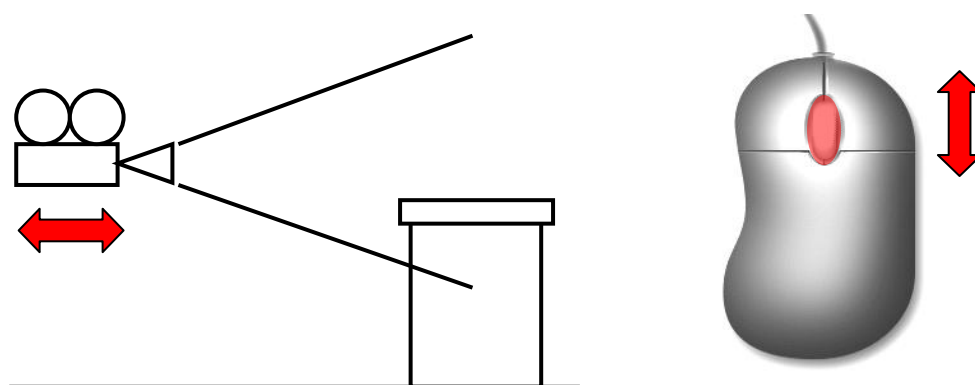
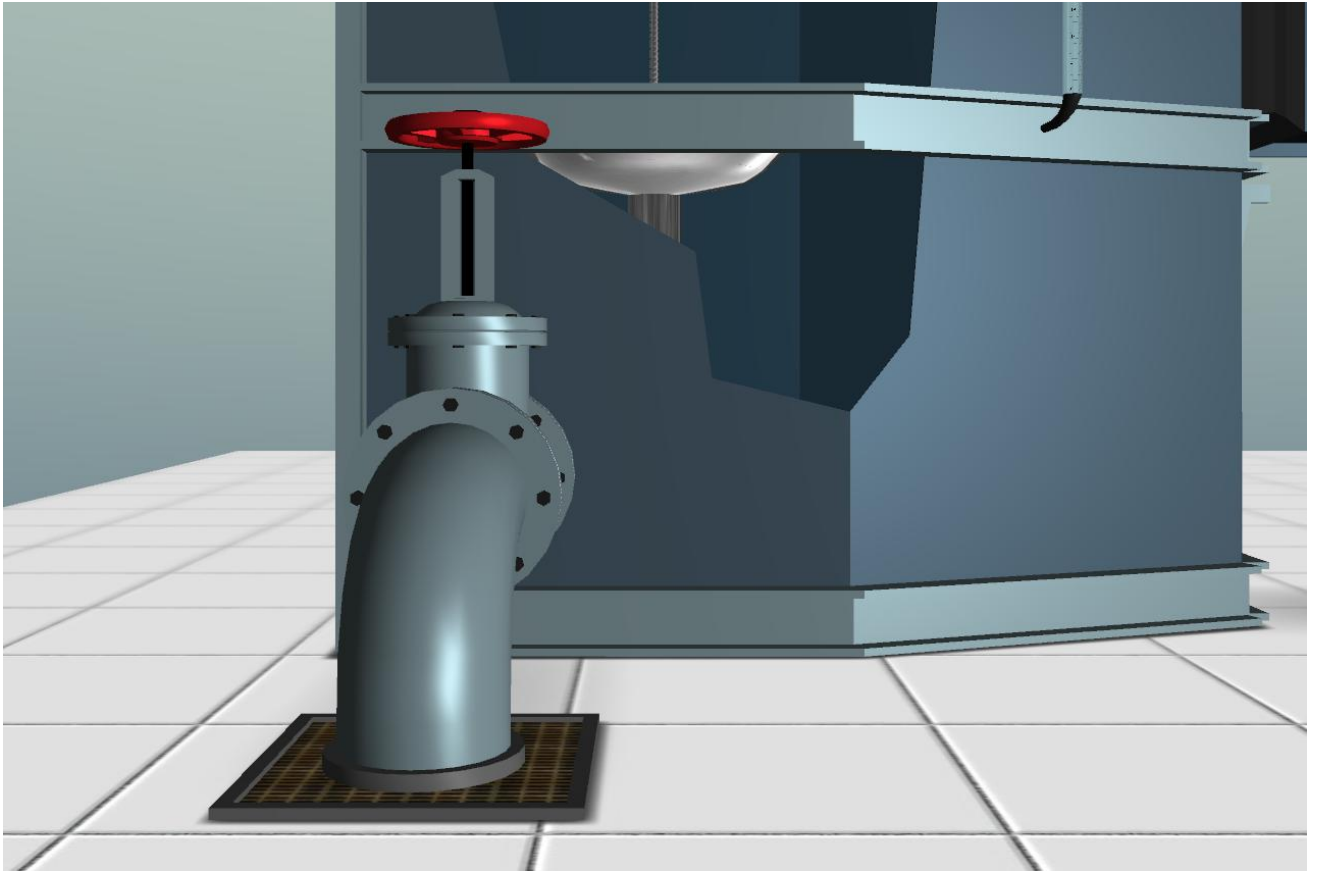


Рисунок 63 – Перемещение виртуальной камеры перпендикулярно плоскости экрана с помощью колеса мыши

Запуск установки осуществляется с помощью вентиля подачи воды (рисунок 64). Для открытия вентиля наведите мышь на объект (вентиль отобразится белым цветом) и кликните левой кнопкой мыши.

а



б

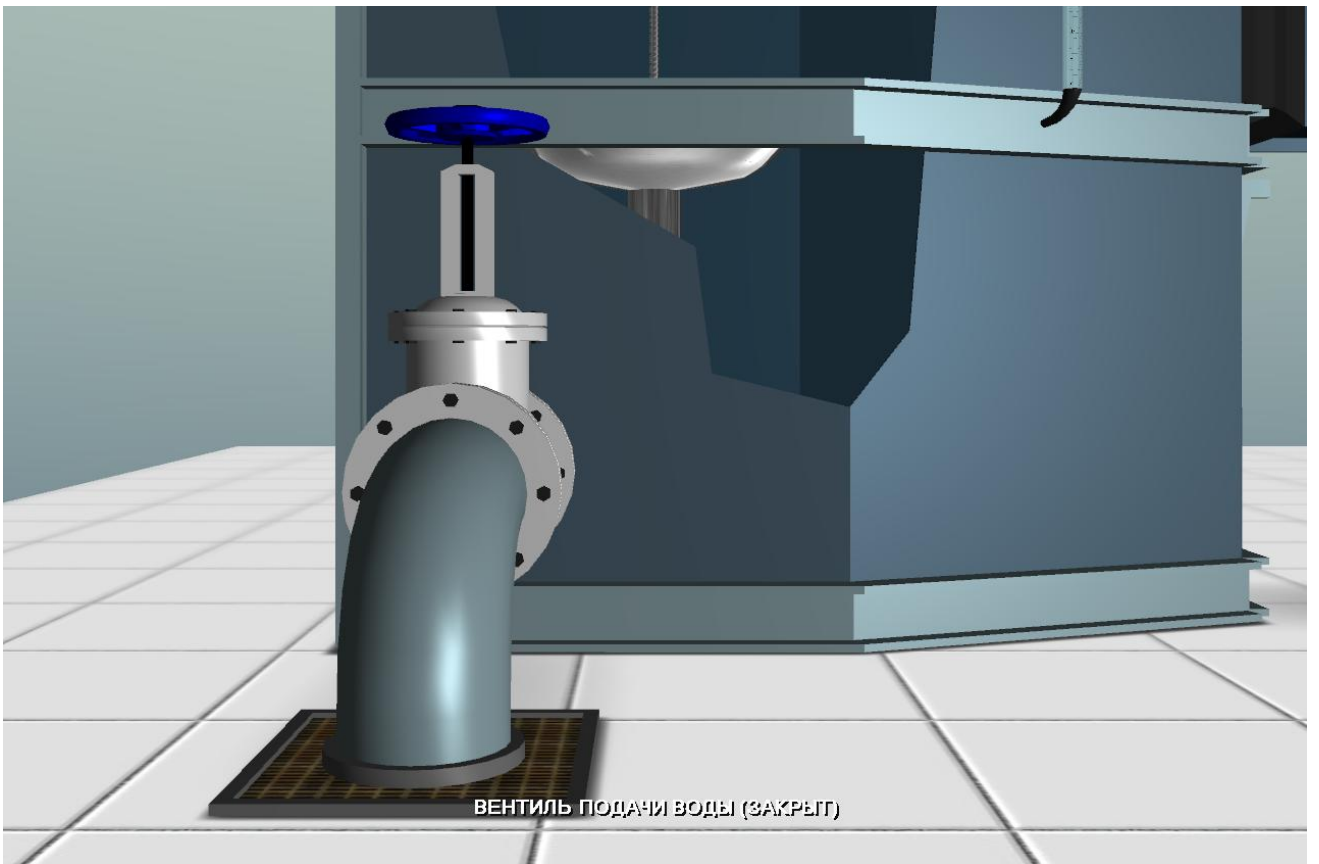


Рисунок 64 – Включение вентиля подачи воды

После включения подачи воды произойдет наполнение напорного бака до нулевой отметки лотка (до уровня дна лотка). Дальнейшее наполнение установки произойдет при открытии файла имитационной модели.

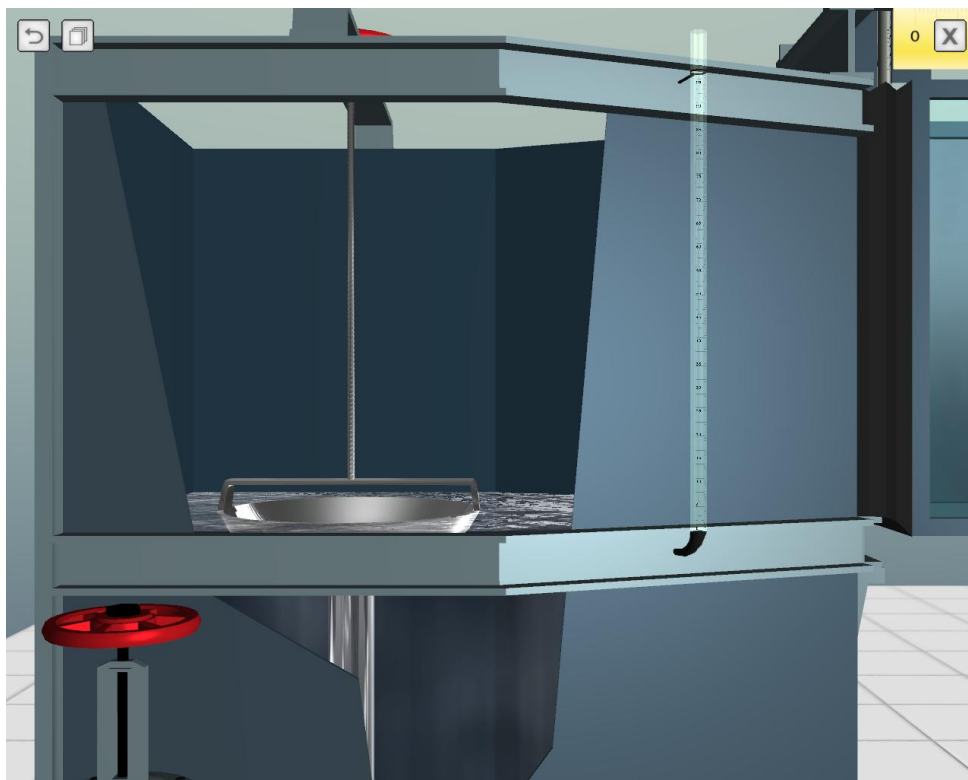


Рисунок 65 – Начальное наполнение напорного бака водой

Для открытия файла имитационной модели наведите указатель мыши на вторую функциональную кнопку в верхней части экрана и кликните левой кнопкой мыши один раз. При выполнении данного действия откроется диалоговое окно выбора файла для открытия (рисунок 66).

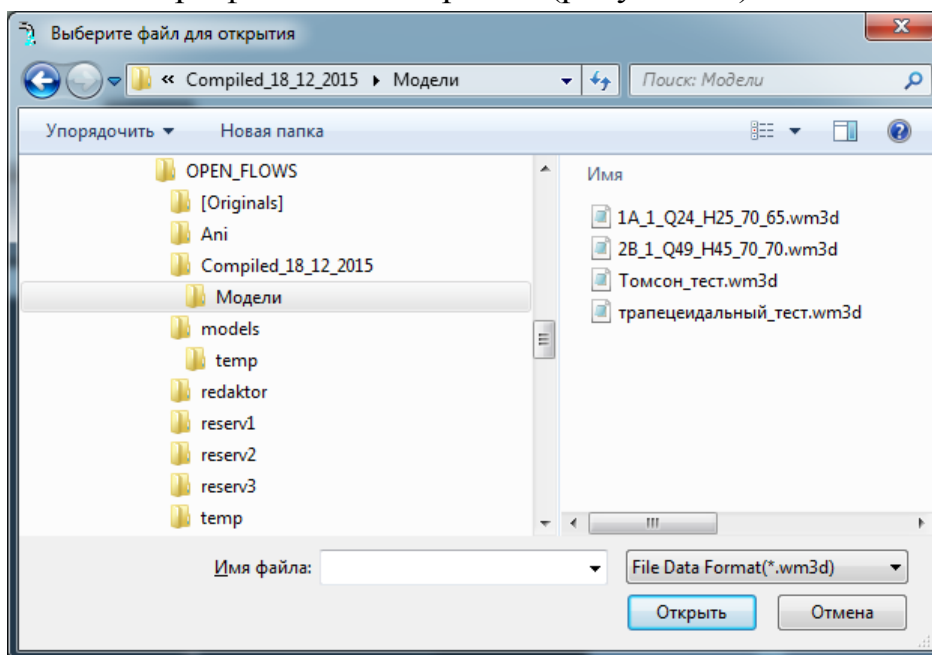


Рисунок 66 – Диалоговое окно открытия файла имитационной модели

В диалоговом окне открытия файла будет задан последний путь обращения к папке, в которой хранятся файлы имитационных моделей. Если открытие файла осуществляется впервые, необходимо найти папку на жестком диске с (помощью древа папок в диалоговом окне открытия).

После открытия файла модели все параметры установки, а именно, начальный напор воды, положение чаши водослива в напорном баке, открытие затворов, уклон дна лотка, конструкция водослива, и форма потока воды в лотке выстроятся в соответствии с заданными в файле модели параметрами. На рисунке 67 изображен вид лабораторной установки после открытия файла имитационной модели (задана модель потока для водослива с широким порогом).

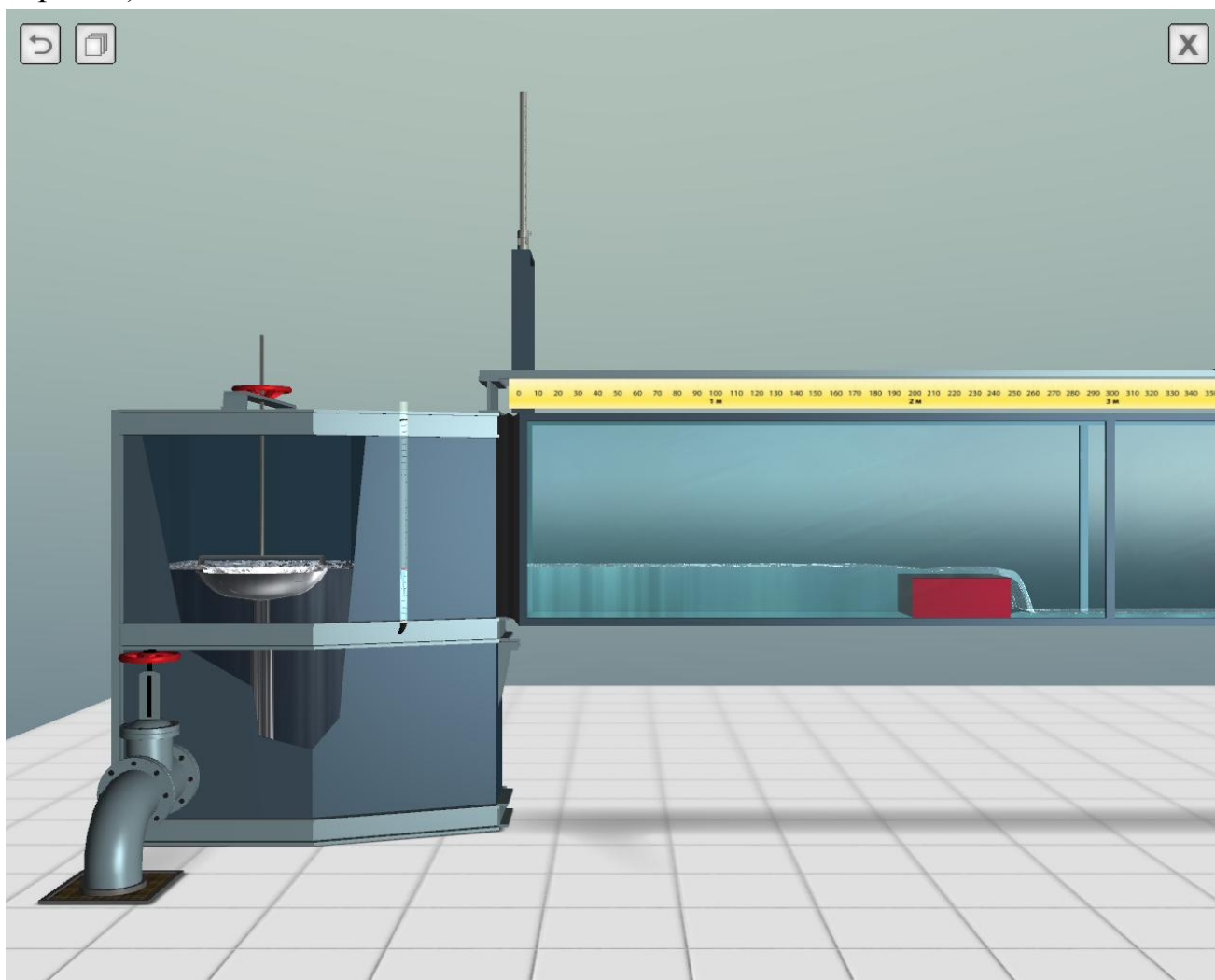


Рисунок 67 – Вид установки при загруженной имитационной модели потока

Далее производятся измерения основных гидравлических характеристик. Величина относительного напора в баке фиксируется по положению поплавка мерной трубки (пьезометра) напорного бака. Для того чтобы приблизить камеру к пьезометру напорного бака, наведите центр экрана на объект и вращением скролла мыши от себя приблизьтесь к точке нахождения поплавка (рисунок 68). При нахождении камеры вблизи мерных шкал в центре экрана отображается

вспомогательный крестик (прицел), позволяющий делать точные замеры отметок по шкалам.

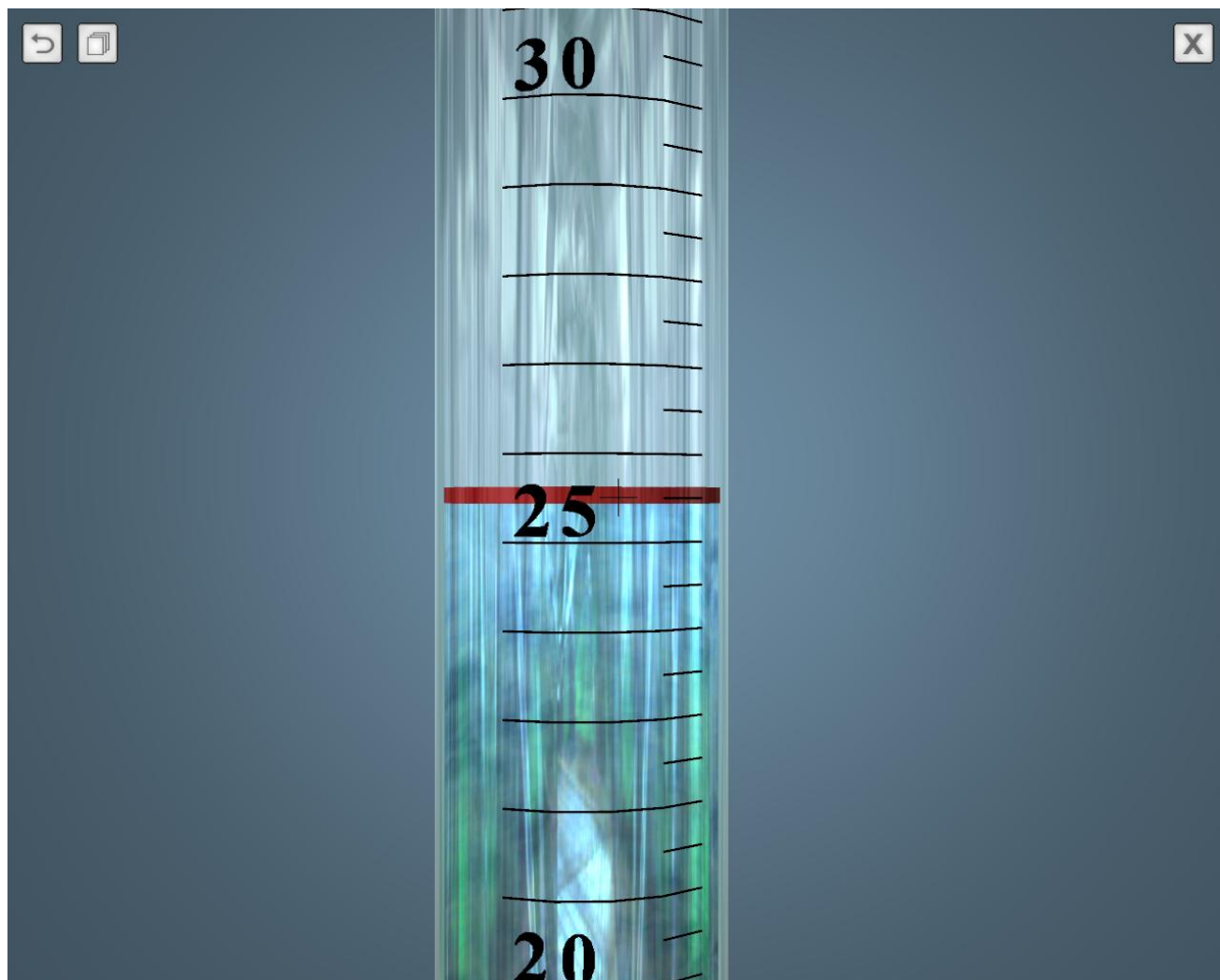


Рисунок 68 – Снятие показаний с пьезометра напорного бака

Замеры отметок поверхности воды в лотке производятся с помощью шпигенмасштабов (рисунок 69). Поскольку длина лотка составляет 15 метров, с целью ускорения процесса замеров в лотке предусмотрены два шпигенмасштаба. Горизонтальное положение шпигенмасштаба оценивается по горизонтальной линейке, расположенной над лотком.

Чтобы приблизиться к горизонтальной метке шпигенмасштаба, наведите центр экрана в точки приближения и вращением скролла мыши осуществите приближение (рисунок 70).

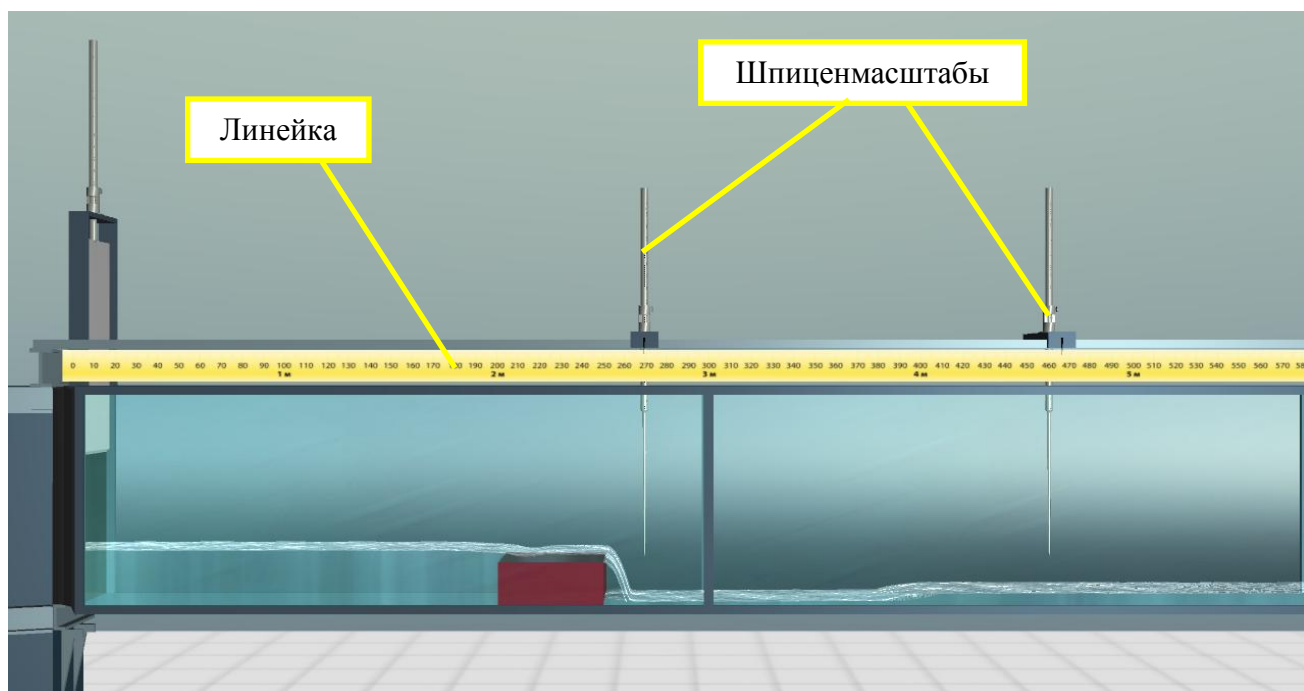


Рисунок 69 – Устройства измерения отметок поверхности воды в лотке

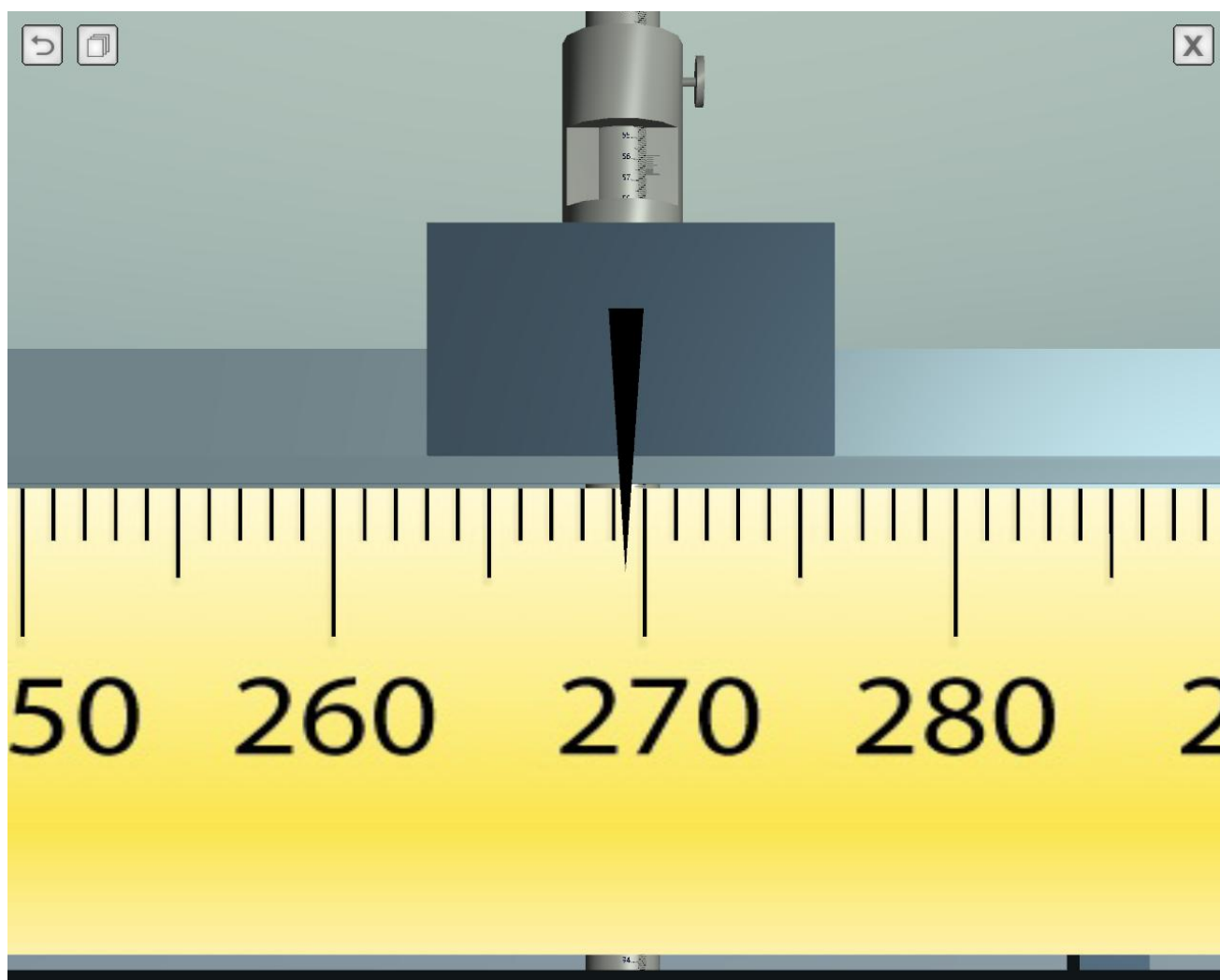


Рисунок 70 – Горизонтальная метка шпиценмасштаба

Вертикальное положение иглы шпигенмасштаба отслеживается по специальному измерительному приспособлению в верхней части шпигенмасштаба (над лотком), оснащеному измерительным нониусом (рисунок 71).

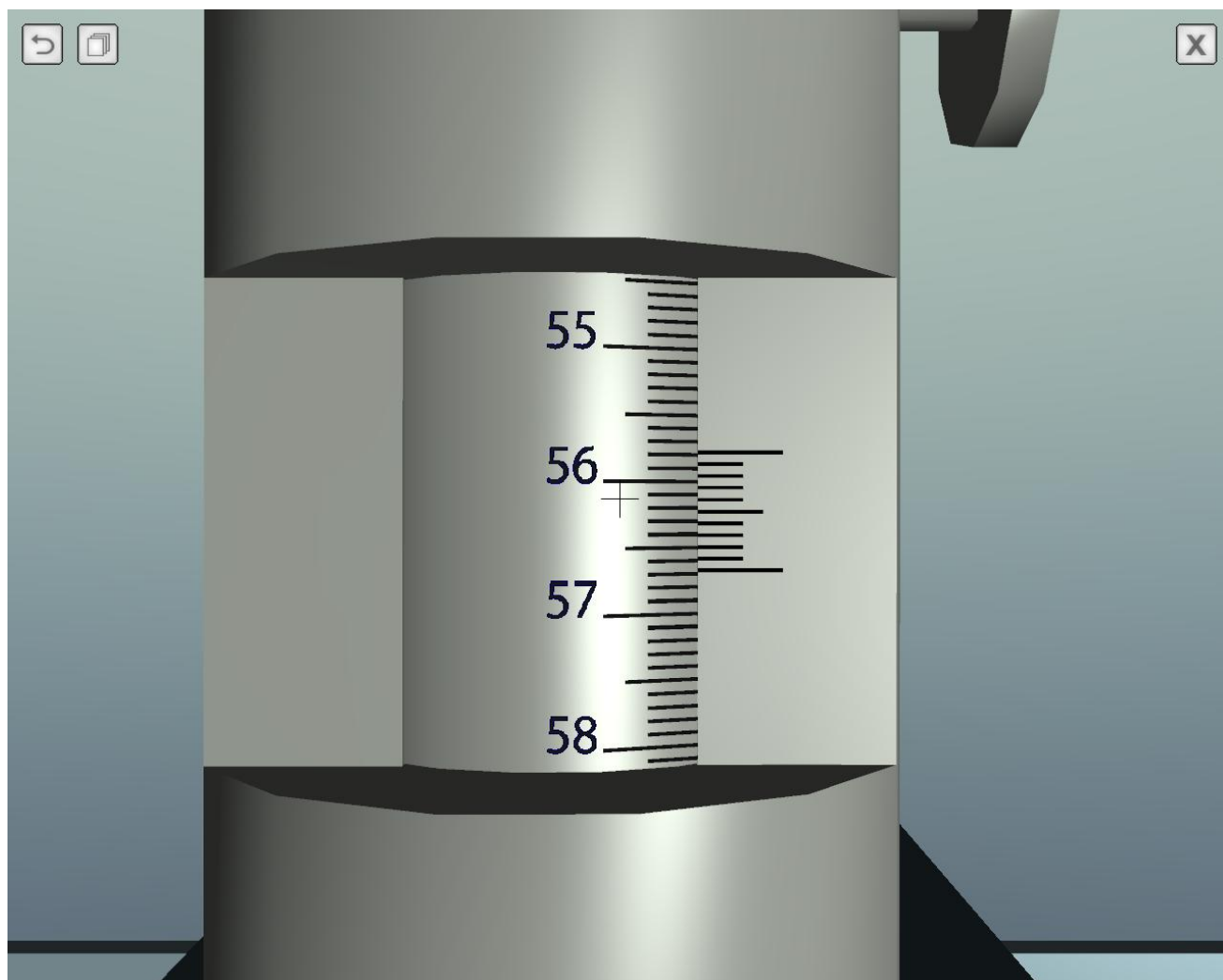


Рисунок 71 – Нониус шпигенмасштаба

Шпигенмасштаб можно перемещать мышью. Для перемещения шпигенмасштаба наведите указатель мыши на иглу (объект отобразится синим цветом), нажмите и удерживайте левую кнопку мыши, плавно перемещая мышь в плоскости экрана.

Если иглу нужно переместить только в вертикальном направлении, необходимо нажать правую кнопку мыши, и, удерживая ее, перемещать мышь вертикально.

Если шпигенмасштаб необходимо переместить только в горизонтальном направлении, указатель мыши следует навести на подставку шпигенмасштаба (рисунок 73)

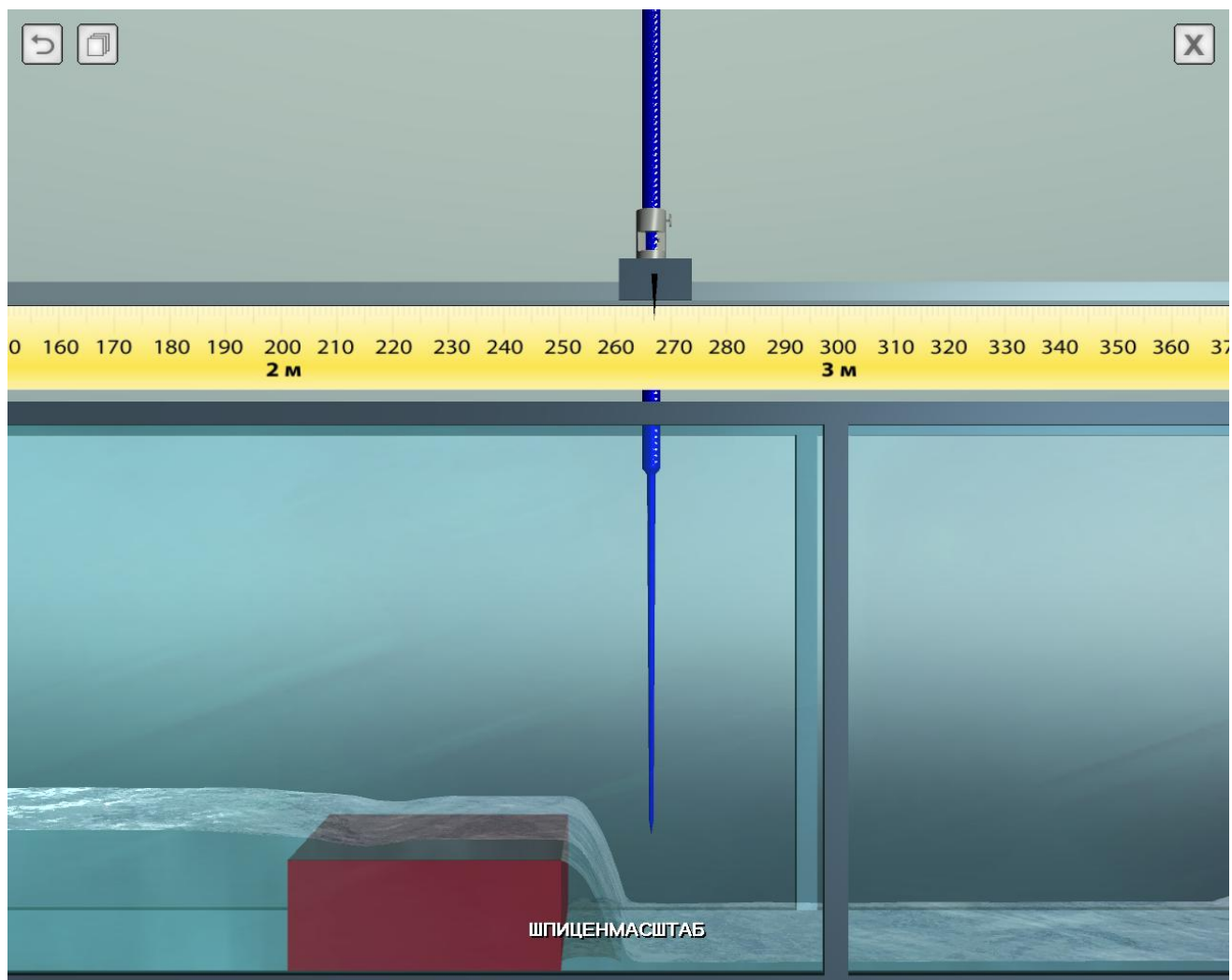


Рисунок 72 – Наведение указателя мыши на мерную иглу шпиценмасштаба для перемещения в горизонтальном и/или вертикальном направлении

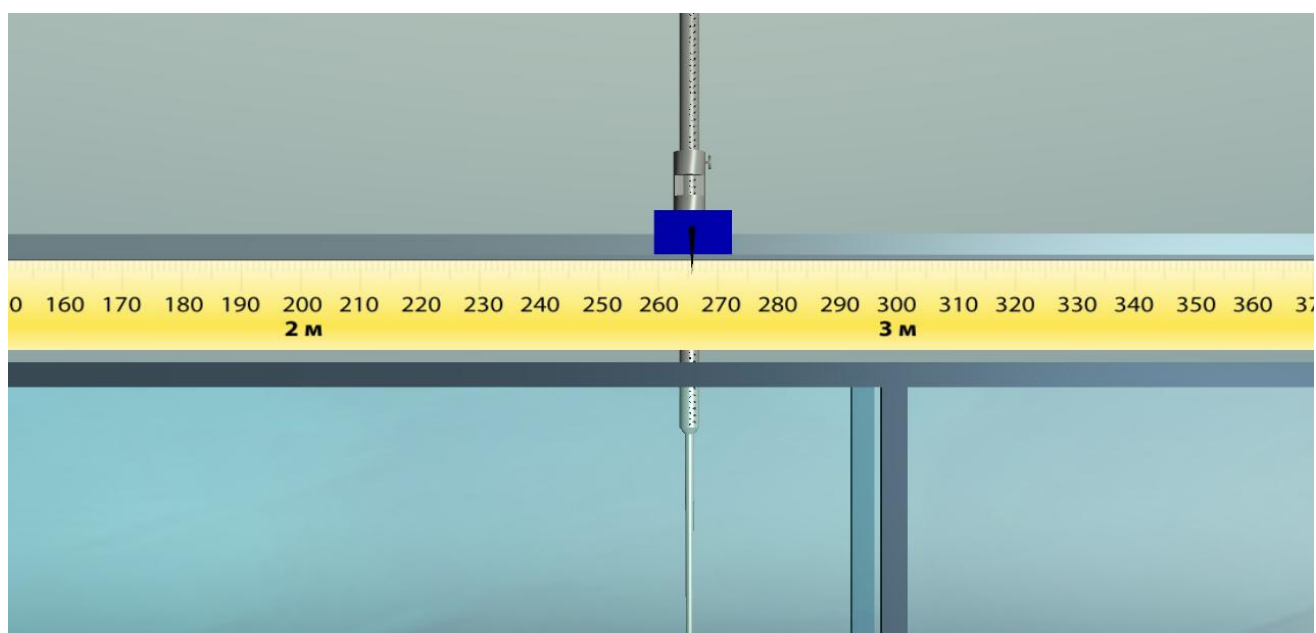


Рисунок 73 – Наведение указателя мыши на подставку шпиценмасштаба для перемещения в горизонтальном направлении

Точный подвод иглы в требуемую точку поверхности осуществляется при максимальном приближении камеры в точку замера (рисунок 74). При этом вначале необходимо навести центральную точку экрана (вспомогательный прицел) в точку замера, после чего мышью подвести кончик иглы в эту же точку. Замер можно производить, когда кончик иглы и центр экрана совместятся.

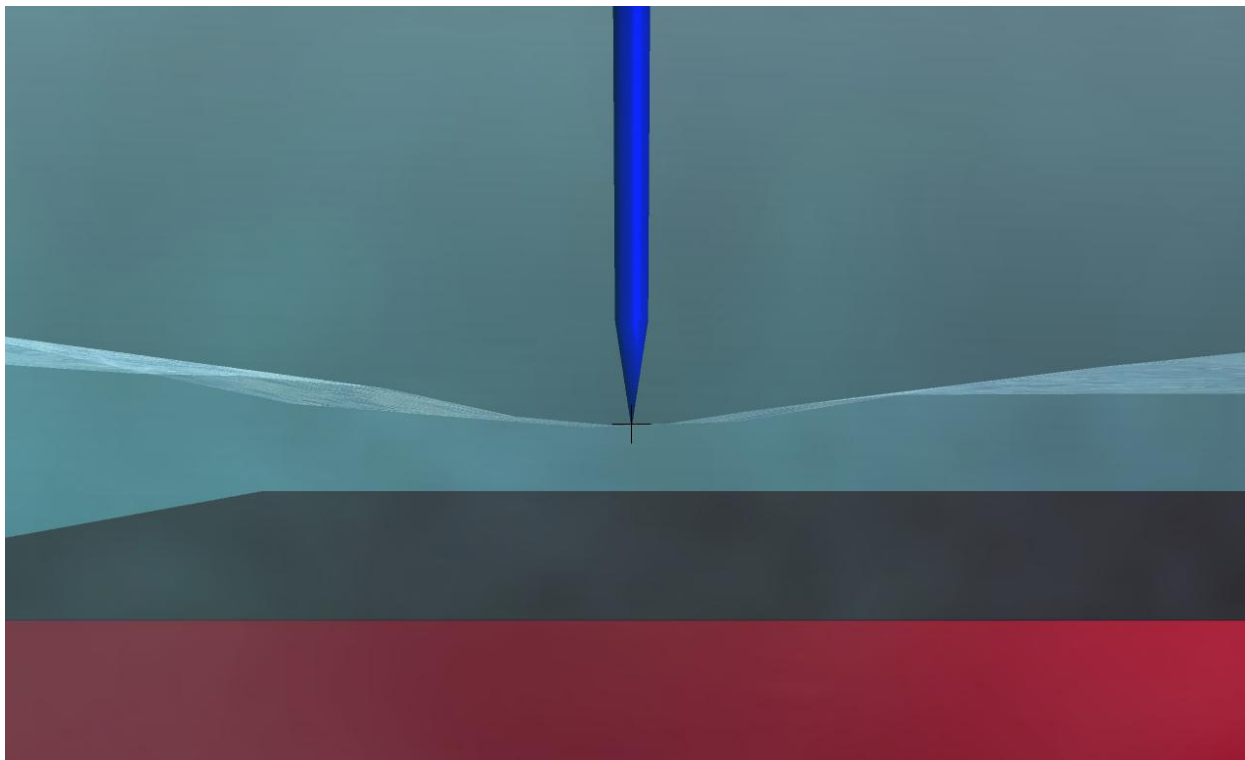


Рисунок 74 – Точный подвод кончика иглы шпигенмасштаба в точку замера

Величина открытия затворов фиксируется по специальным измерительным приспособлениям, установленным над затворами (рисунок 75).

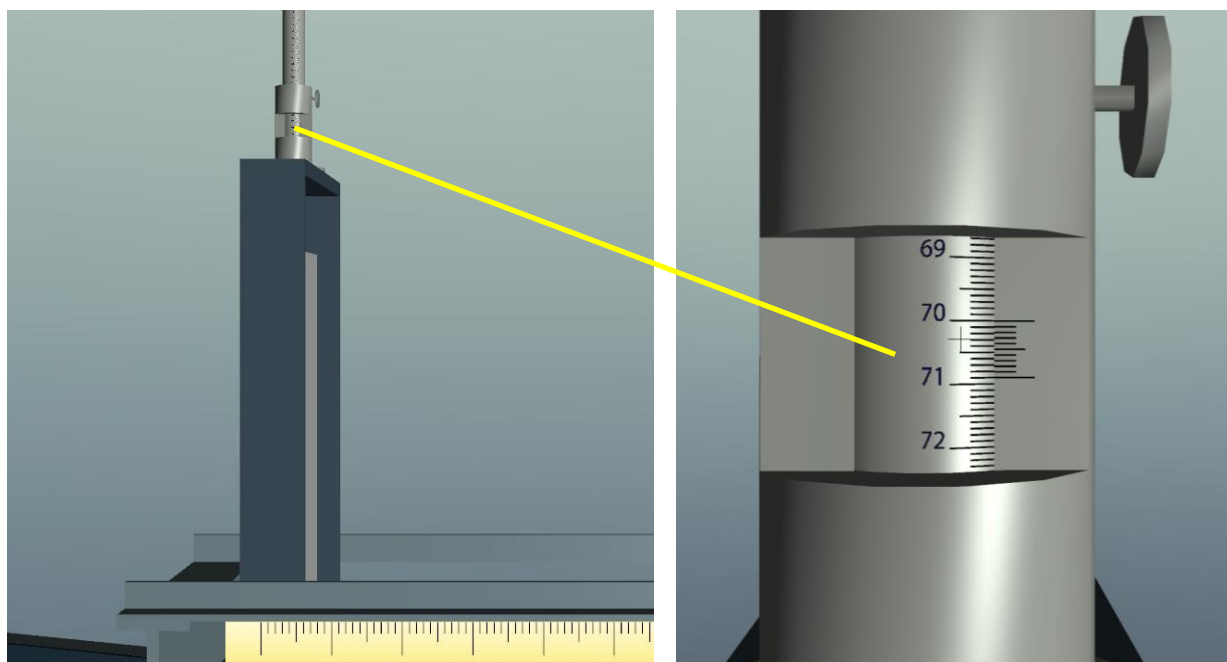


Рисунок 75 – Измерение величины открытия затвора

Уклон дна лотка определяется путем замера отметок дна в двух точках по длине лотка.

В правой части лабораторной установки расположен расходомерный бак. При наведении указателя мыши на бак передняя стенка бака скрывается. Для начала замера расхода воды наведите указатель мыши на переливное устройство (объект отобразится синим цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 76).

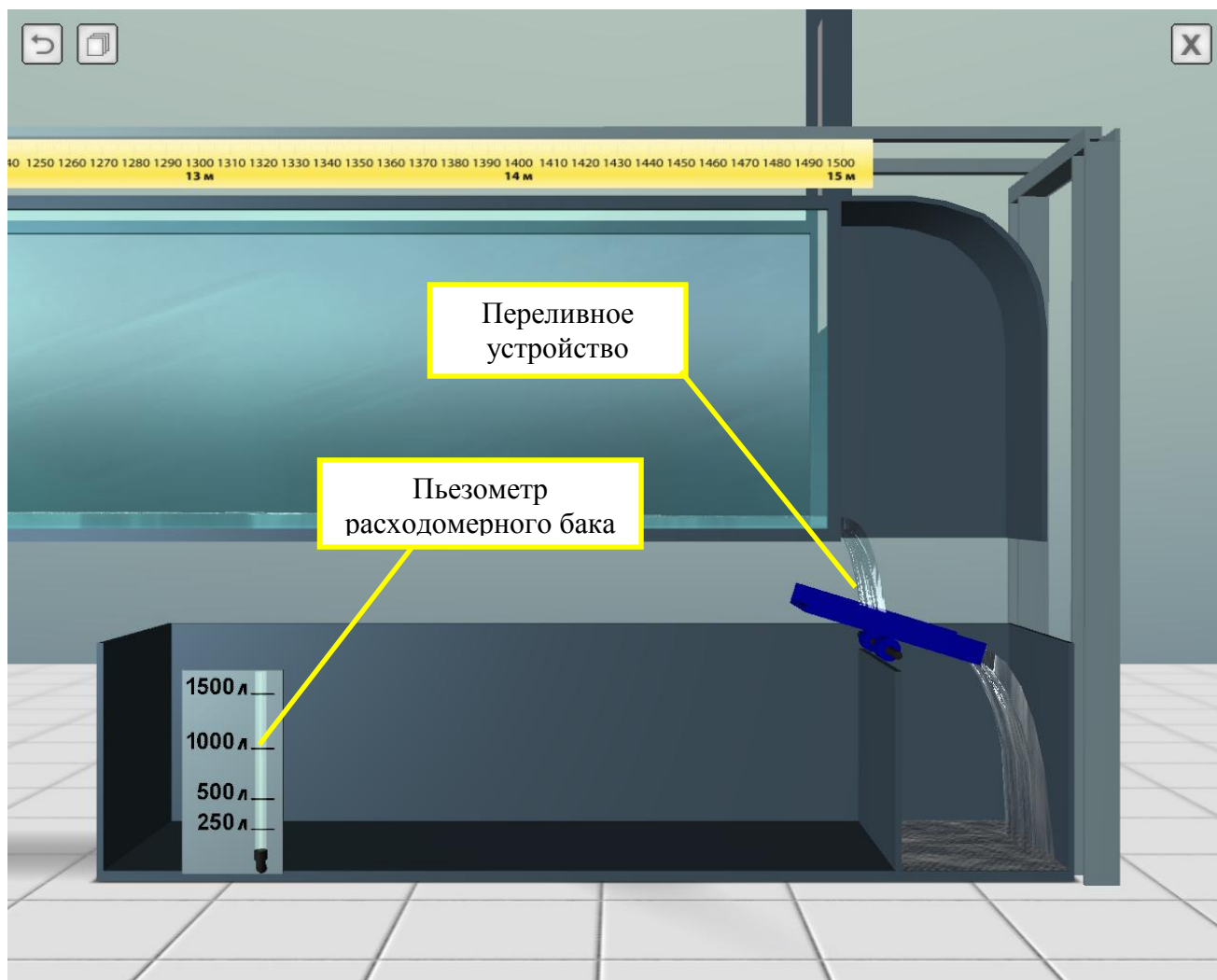


Рисунок 76 – Переход к замеру расхода воды

В процессе замера расхода воды на экране отображается секундомер аналогового типа (рисунок 77). Наполнение бака продолжается до определенной отметки (по пьезометру расходомерного бака). После окончания наполнения бака секундомер останавливается, а переливное устройство возвращается в исходное положение (обеспечивая слив воды в канализацию).

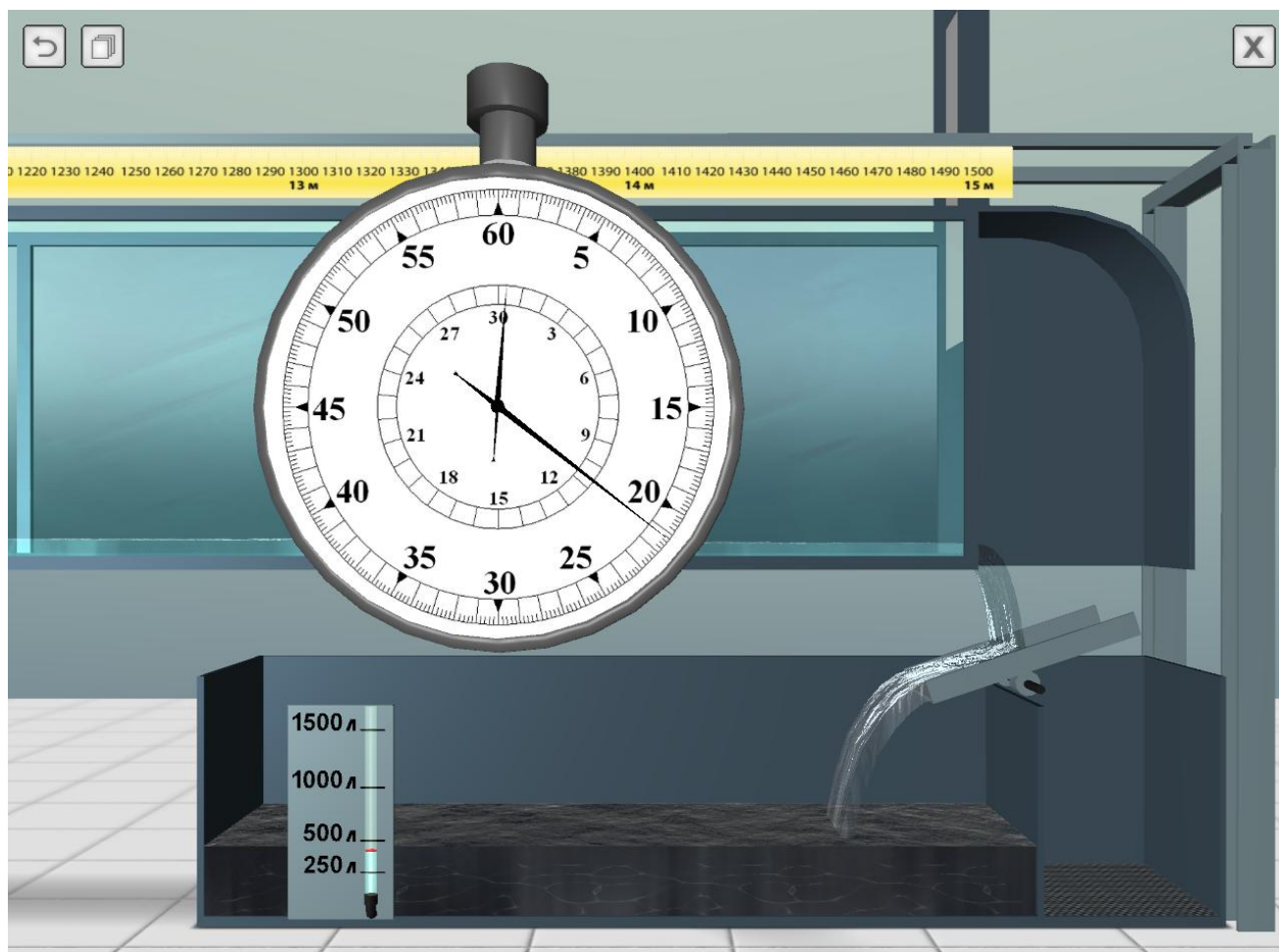


Рисунок 77 – Процесс замера расхода воды

Чтобы спрятать секундомер после окончания замера расхода, наведите на него указатель мыши и кликните левой кнопкой мыши.

На этом цикл работы с симулятором завершен.

ПРИМЕЧАНИЕ ПО ЗАМЕРУ ОТМЕТОК ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ ВБЛИЗИ ЗАТВОРОВ

Конструктивные особенности установки не позволяют подвести шпигельмасштаб к верхнему (и нижнему) затвору на расстояние ближе, чем 12 см (рисунок 78). Решить данную задачу можно при помощи вспомогательного прицела в центре экрана. Для начала необходимо подвести шпигельмасштаб на максимально возможное расстояние к затвору. Затем выровнять высоту камеры по отметке кончика иглы, после чего аккуратно переместить камеру влево, используя соответствующие клавиши («ВЛЕВО» или «А») (рисунок 79). Расстояние замера можно определить по линейке, подняв камеру вертикально вверх до уровня делений линейки. То же самое касается правого шпигельмасштаба и нижнего затвора.

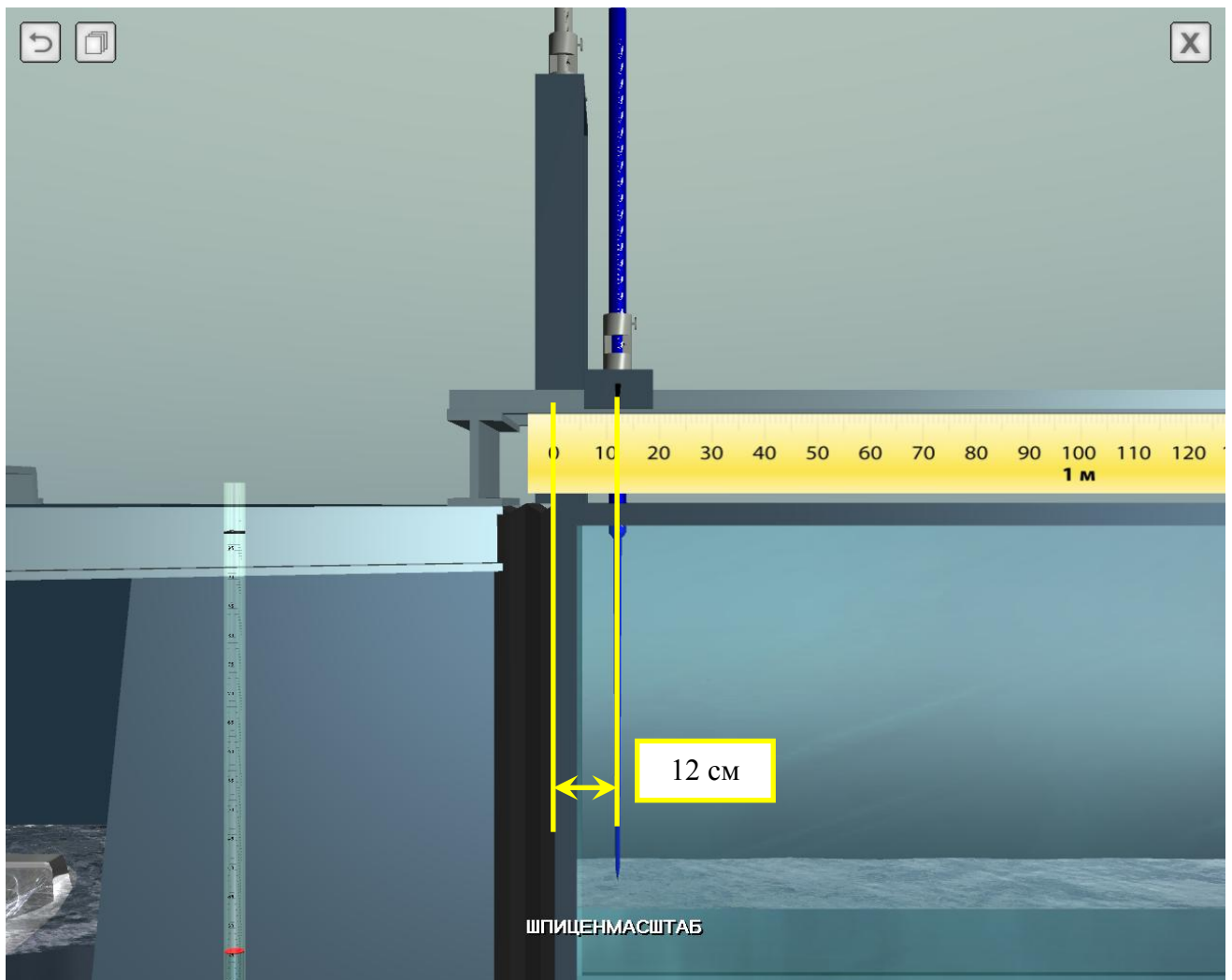


Рисунок 78 – Конструктивное ограничение перемещения шпигенмасштаба

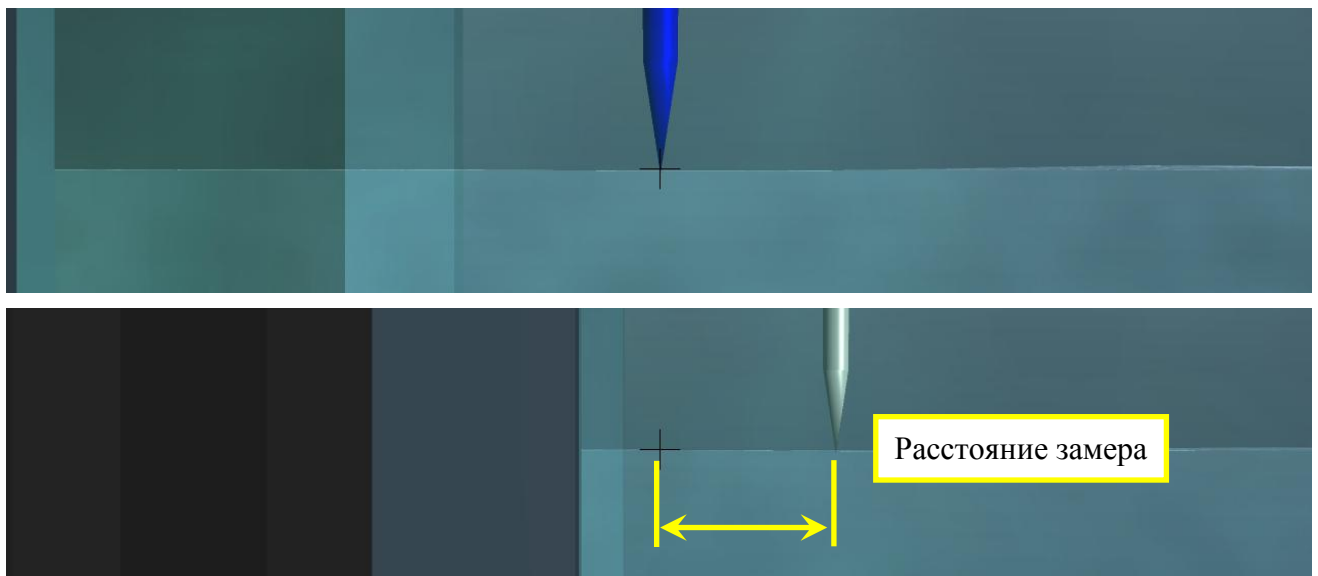


Рисунок 79 – Измерение точек вблизи затвора с помощью вспомогательного прицела

АВТОР ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

Образцов Илья Вячеславович,

кандидат технических наук, ведущий программист центра научно-образовательных электронных ресурсов Тверского государственного технического университета.

sunspire@list.ru

Дополнительные материалы, а также информация о других программных продуктах представлена на информационном веб-сайте: www.sunspire.ru

г. Тверь, 2018 г.