



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Институт** ИЭТЭ  
**Кафедра** ИЭиОТ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(бакалаврская работа)**

**Направление** 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, модуль  
Электротехника  
(код и наименование)

**Направленность (профиль)** Техногенная безопасность в  
электроэнергетике и электротехнике

**Форма обучения** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Тема:** Разработка лабораторного стенда для исследования  
механической очистки воды с применением фильтров на зернистой  
основе

**Студент** ЭЛ-18-16 Юнусов М.А.  
группа подпись фамилия и инициалы

**Научный** К.т.н. доцент Козодаев А.С.  
**руководитель** уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** К.т.н. доцент Завьялова А.А.  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

«Работа допущена к защите»

**Зав. кафедрой** Д.т.н. доцент Кондратьева О.Е.  
уч. степень звание подпись фамилия и инициалы

**Дата** 28.05.2020

Москва, 2020



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Институт** ИЭТЭ  
**Кафедра** ИЭ и ОТ

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
(бакалаврскую работу)**

**Направление** 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование)

**Направленность (профиль)** Техногенная безопасность в  
электроэнергетике и электротехнике

**Форма обучения** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Тема:** Разработка лабораторного стенда для исследования  
механической очистки воды с применением фильтров на зернистой  
основе

**Студент** Эл-18-16 Юнусов М.А.  
группа подпись фамилия и инициалы

**Научный  
руководитель** к.т.н. доцент Козодаев А.С.  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** к.т.н. доцент Завьялова А.А.  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Зав. кафедрой** д.т.н. доцент Кондратьева О.Е.  
уч. степень звание подпись фамилия и инициалы

**Место выполнения работы** Кафедра ИЭ и ОТ НИУ «МЭИ»

## **СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

---

1. Особенности фильтрования воды через зернистые материалы
  2. Обзор и анализ существующих стан­дов для механической очистки воды
  3. Разработанный лабораторный стан­д для механической очистки воды
  4. Тех­нико-экономический рас­чёт установки
- 

Приложение 1 (Методические указания по выполнению лабораторной работы)

---

Приложение 2 (Конструкторская документация)

---

---

---

---

---

---

---

---

## **ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА**

<b>Количество листов</b>	108
--------------------------	-----

---

<b>Количество слайдов в презентации</b>	11
---	----

---

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

[1] Фрог Б.Н., Левченко А.П. – “Водо­подготовка: Учебное пособие для вузов

---

[2] А.Г.Гудков. Механическая очистка сточных вод. / А.Г.Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2003. - 152 с.

---

## **Аннотация**

Выпускная квалификационная работа бакалавра М. А. Юнусова «Разработка лабораторного стенда для механической очистки воды на зернистых загрузках» состоит из пояснительной записки и приложения (конструкторская документация и методические указания по выполнению лабораторных работ).

Работа включает 108 страниц, содержит 8 таблиц и 14 рисунков, список используемой литературы содержит 19 ссылок.

В работе проведен анализ способов фильтрования воды через зернистые материалы, проведён обзор существующих на рынке лабораторных стендов для механической очистки воды, показавший целесообразность разработки оригинального стенда для кафедры ИЭиОТ НИУ «МЭИ». Разработаны технологическая схема и конструкторская документация для исполнения стенда, описана работа разработанного лабораторного стенда для механической очистки воды, приведен технико-экономический расчёт установки.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Особенности фильтрования воды через зернистые материалы</b> .....	<b>9</b>
1.1 Процесс фильтрования воды через зернистые материалы .....	9
1.2 Фильтрующие материалы .....	13
<b>2. Обзор и анализ существующих стендов для механической очистки воды</b> .....	<b>21</b>
2.1 Установка «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи .....	21
2.2 Установка «Фор Ватер» производства компании УчТехПрофи .....	23
2.3 Установка «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza .....	26
2.4 Установка «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи .....	29
<b>3. Разработанный лабораторный стенд для механической очистки воды</b> .....	<b>33</b>
3.1 Основной состав установки .....	33
3.2 Первый этап очистки. Отстойник .....	38
3.3 Второй этап очистки. Фильтры. Основной процесс .....	40
<b>4. Техничко-экономический расчёт установки</b> .....	<b>43</b>
4.1 Технологический расчёт элементов установки .....	43
4.2 Экономический расчёт установки .....	50
<b>5. Заключение</b> .....	<b>53</b>
<b>6. Список используемой литературы</b> .....	<b>55</b>
<b>Приложение 1 Методические указания по выполнению лабораторной работы</b> .....	<b>57</b>
<b>Приложение 2 Конструкторская документация</b> .....	<b>72</b>

## Введение

Самым необходимым элементом для функционирования промышленных предприятий всех отраслей, а обеспечения жизнедеятельности человека является вода. Одним из перспективных направлений подготовки специалистов в области инженерной экологии и техногенной безопасности – водоочистка и водоподготовка. В программе обучения студентов на кафедре инженерной экологии и охраны труда НИУ «МЭИ» есть курсы, программы которых содержат разделы, посвященные изучению вопросов качества воды, разработке систем водоочистки и водоподготовки («Химия окружающей среды», «Экологический мониторинг», «Расчет и проектирование систем защиты окружающей среды»). Для проведения лабораторных и практических работ по данным дисциплинам необходимо наличие соответствующей лабораторной базы.

Разработка лабораторного стенда, позволяющего выполнять обширный диапазон исследований процессов очистки воды является актуальной, потому что вдобавок он предоставляет возможность проведения экспериментов в рамках выполнения выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций. В качестве основного метода очистки для реализации стенда был выбран метод механической очистки воды на зернистых загрузках. На основании вышесказанного были сформулированы цель и задачи для выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

**Целью** данной дипломной работы является разработка лабораторного стенда для механической очистки воды на зернистых загрузках, для проведения лабораторных занятий и научных исследований.

Для достижения поставленной цели в данной дипломной работе были поставлены следующие **задачи**:

- изучить процессы механической очистки и осветления воды, а также их доступность;
- проанализировать существующие стенды для механической очистки воды;

- разработать технологическую схему, подобрать комплектующие, создать конструкторскую документацию для лабораторного стенда;
- рассчитать затраты на реализацию лабораторной установки;
- разработать методические указания для выполнения лабораторных работ.

Выполнение всех задач способствует качественному выполнению дипломной работы.

На данной установке студенты кафедры смогут изучать процесс фильтрации воды, а так как цилиндры, в которых будет находиться зернистая загрузка, выполнены из полиметилметакрилата (органического стекла), то и визуально оценивать эффективность различных фильтрующих материалов. Студенты так же могут измерить скорость отстаивания воды, следовательно, выявить эффективность тонкослойного отстойника. Качественно можно оценить процесс влияния интенсификации от добавления коагулянта. Благодаря специальной конструкции крепления фильтрующих колонн на раме и использование бугельного замка, в установке облегчена смена фильтрующего материала. Разработанная установка достаточно компактна, а за счет наличия аппаратных поворотных колес со стопорами еще и мобильна. Все это позволяет проводить различные интересные исследования без специальных требований к конкретному помещению. Еще одной важной особенностью данной установки является ее дешевизна относительно стандартных аналогов, представленных в настоящее время на рынке. Такой подход в модернизации лабораторного фонда позволяет значительно расширить возможности для проведения лабораторных работ и практических занятий, а также проводить исследования в рамках подготовки выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций.

Самое главное – практическая значимость лабораторной установки. Именно стенд представляет собой один из самых лучших способов обучения. При помощи него проводить практические и лабораторные занятия становится намного интереснее и качественнее. Современная лабораторная установка производится с применением новейшего оборудования, что даёт возможность организовать полноценное и качественное обучение студентов. Это

оборудование позволяет студентам получить не только теоретические, но и практические навыки. Только при помощи лабораторного стенда можно работать с реальным оборудованием причём безопасно. Помимо этого, при помощи установки не только студентам становится проще воспринимать учебный материал, но и самим преподавателям становится удобнее объяснять и подавать материал. На подобном оборудовании очень удобно проводить самые разные опыты и эксперименты, не опасаясь за своё здоровье, ведь они все отвечают принятым нормам безопасности. Другими словами, лабораторный стенд для механической очистки воды на зернистых загрузках позволяет смоделировать реальную ситуацию очистного сооружения, но при этом без вреда для здоровья.



## **1. Особенности фильтрования воды через зернистые материалы**

### **1.1 Процесс фильтрования воды через зернистые материалы**

Механическая очистка – это выделение из сточных вод находящихся в них нерастворённых грубодисперсных примесей, имеющих минеральную и органическую природу. Для этого применяются следующие методы:

- процеживание – задержание наиболее крупных загрязнений и частично взвешенных веществ на решётках и ситах;
- отстаивание – выделение из сточных вод взвешенных веществ под действием силы тяжести на песколовках (для выделения минеральных примесей), отстойниках (для задержания более мягких оседающих и всплывающих примесей) а также нефтеловушках, масло- и смолоуловителях;
- фильтрование – задержание очень мелкой суспензии во взвешенном состоянии на сетчатых и зернистых фильтрах [1].

В основном же механическую очистку используют как предварительный этап очистки.

Из известных теорий процесса очистки воды фильтрованием наибольшее признание получила теория Д. М. Минца, которая экспериментально подтверждена и внедрена. На основе этой теории разработана методика технологического анализа процесса фильтрования, позволяющая определять параметры процесса и использовать их для оптимизации режима работы фильтровальных сооружений.

Согласно теории Д. М. Минца, при движении воды, содержащей взвешенные частицы, через зернистую загрузку фильтровальных аппаратов последние задерживаются загрузкой, и вода осветляется. Одновременно в толще загрузки накапливаются загрязнения, вследствие чего уменьшается свободный объем пор, увеличивается гидравлическое сопротивление загрузки.

Возрастание гидравлического сопротивления приводит к росту потери напора в загрузке. Извлечение примесей из воды и их закрепление на зернах фильтрующей загрузки происходит под действием сил адгезии. Осадок,

накапливающийся в загрузке из задержанных примесей, имеет непрочную структуру. Под влиянием гидродинамических сил потока эта структура разрушается, и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен загрузки в виде мелких хлопьев и переносится в последующие слои загрузки (суффозия), где вновь задерживается в поровых каналах. Следовательно, осветление воды в зернистой загрузке следует рассматривать как суммарный результат двух противоположных процессов: процесса адгезии и процесса суффозии. Осветление воды в каждом элементарном слое загрузки происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность их отрыва. По мере накопления осадка интенсивность отрыва частиц увеличивается. Кинетика прилипания и отрыва частиц определяет ход процесса осветления воды по толщине слоя фильтрующей загрузки и во времени (рис. 1.1, где показаны кривые изменения концентрации взвеси в воде по высоте загрузки). Каждая кривая относится к определенному моменту времени. Кривая 1 характерна для начального периода процесса после того, как первые порции фильтруемой воды пройдут через слой загрузки, а кривая 4 — предельному насыщению загрузки осадком. Кривая 1 показывает, как изменяется концентрация взвеси в воде по высоте загрузки толщиной  $X_0$  только под действием сил прилипания.

По мере накопления осадка в загрузке явление отрыва ранее прилипших частиц начинает проявляться все более заметно. Характер кривых изменяется (рис. 1.1, кривые 2, 3, 4). Они показывают, что роль слоев загрузки, расположенных вблизи от поверхности, в осветлении воды уменьшается. После продолжительной работы фильтра насыщение этих слоев осадком становится предельным, и они перестают осветлять воду. На графике (рис. 1.1, кривая 4) отмечена толщина участка загрузки  $X_{\text{нас}}$ , которая находится в состоянии предельного насыщения к этому времени работы аппарата. По мере насыщения верхних слоёв загрузки возрастает роль ниже расположенных, а толщина загрузки, необходимая для извлечения из воды взвеси, увеличивается. Затем наступает такой момент, когда вся толщина загрузки недостаточна для

обеспечения необходимой степени осветления воды и концентрация взвеси на выходе из загрузки начинает возрастать (рисунок. 1.1, кривая 4).

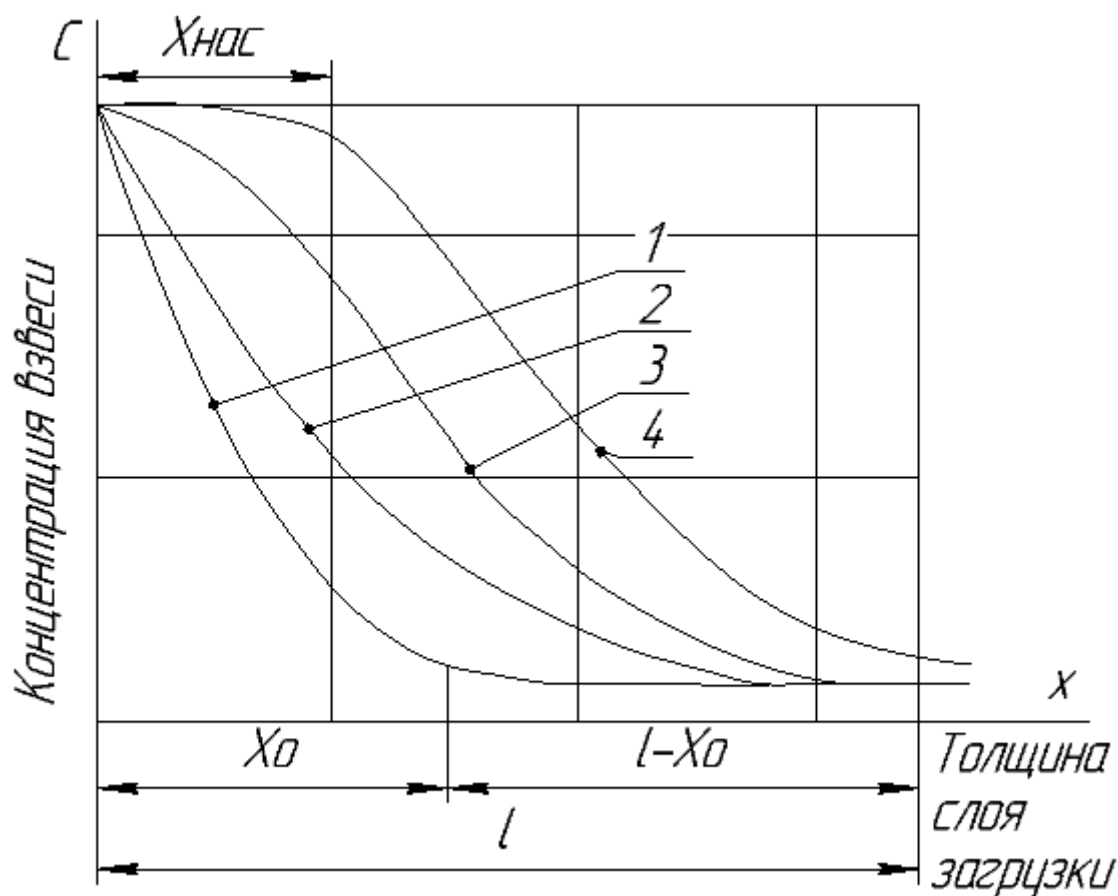


Рисунок 1.1 Кинетика осветления воды фильтрованием через зернистую загрузку [2]

Время, в течение которого загрузка способна осветлять воду до требуемой степени, называется временем защитного действия загрузки. До достижения этого времени на выходе из загрузки получают воду надлежащего качества. По истечении времени защитного действия качество фильтрации загрузки начинает быстро ухудшаться (рис. 1.2).

Одной из основных задач изучения закономерностей процесса осветления воды фильтрованием является нахождение времени защитного действия загрузки. Выделим в модели фильтра элементарный слой загрузки толщиной  $\Delta x$  на расстоянии  $x$  от ее поверхности (рис. 1.2). К верхнему сечению слоя площадью, равной единице, подходит вода с массовой концентрацией частиц  $C_1$ ,

а через нижнее сечение она выходит из слоя с концентрацией  $C_2$ . Уменьшение концентрации частиц в элементарном слое составляет

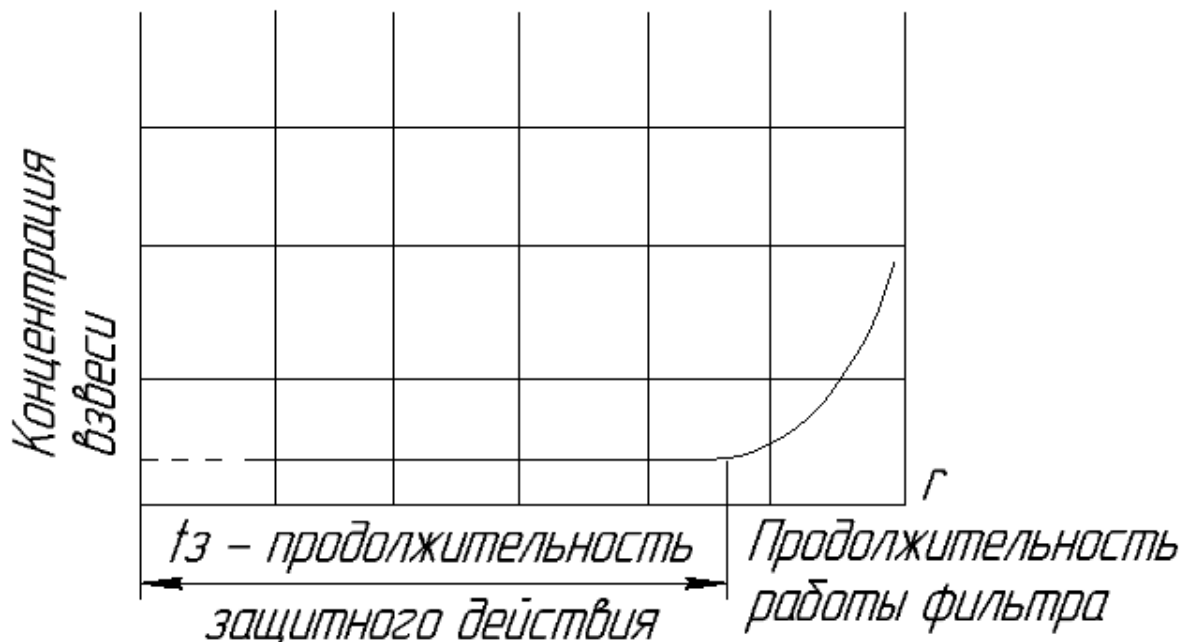


Рисунок 1.2 Кинетика осветления воды во времени [2]

$$\Delta C = -(C_2 - C_1) = \frac{\partial C}{\partial x} \Delta x \quad (1.1)$$

Производная  $\partial C/\partial x$  есть градиент концентрации, т. е. изменение ее на единицу толщины слоя. Градиент концентрации выражен частной производной, так как концентрация частиц в каждом сечении зависит от двух переменных:  $x$  — расстояния от поверхности слоя и  $t$  — продолжительности фильтрования. Знак минус в уравнении (1.1) указывает на уменьшение концентрации с увеличением расстояния  $x$  от поверхности слоя. Эффект осветления воды рассматриваем как результат двух противоположных явлений — изъятия частиц из воды вследствие их прилипания к зернам загрузки и отрыва ранее прилипших частиц под влиянием гидродинамического воздействия потока.

Данная теория может быть реализована в лабораторной работе на разработанной установке и сводиться к определению времени защитного действия.

## 1.2 Фильтрующие материалы

Фильтрующая загрузка является основным рабочим элементом фильтровальных сооружений, поэтому правильный выбор ее параметров имеет первостепенное значение для их нормальной работы. При выборе фильтрующего материала основополагающими являются его стоимость, возможность получения в районе строительства данного фильтровального комплекса и соблюдение определенных технических требований, к числу которых относятся: надлежащий фракционный состав загрузки; определенная степень однородности размеров ее зерен; механическая прочность; химическая стойкость материалов по отношению к фильтруемой воде.

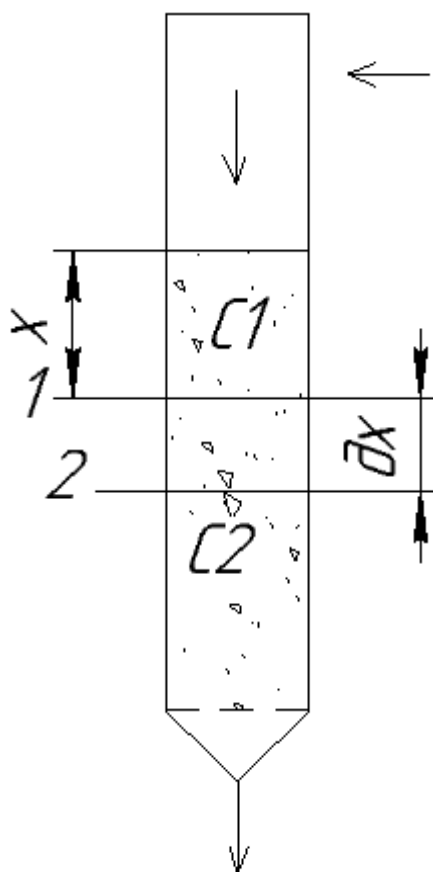


Рисунок 1.3 Фильтровальная установка [2]

Степень однородности размеров зерен, фильтрующей загрузки и ее фракционный состав существенно влияют на работу фильтра. Использование более крупного фильтрующего материала, чем это предусмотрено, влечет за собой снижение качества фильтрации. Использование более мелкого

фильтрующего материала вызывает уменьшение фильтроцикла, перерасход промывной воды и удорожание эксплуатационной стоимости очистки воды. Использование фильтрующих материалов с большой степенью неоднородности по величине зерен, превышающей допустимые пределы, ухудшает условия их промывки, так как вынос верхних мелких фракций начнется раньше, чем придет в движение основная масса зерен загрузки. Это вызывает необходимость снижения интенсивности промывки, чтобы прекратить вынос мелких фракций. При этом значительная часть фильтрующего слоя будет промыта недостаточно. Кроме ухудшения условий промывки загрузки, применение весьма неоднородного по крупности фильтрующего материала вызывает ухудшение условий фильтрования из-за образования поверхностной фильтрующей пленки. Поэтому, как правило, для поддерживающего слоя используют загрузку с большей фракцией С<sub>2</sub>, а с меньшей фракцией сверху в качестве основного фильтрующего материала (рис. 1.3).

Однородность и крупность фильтрующего материала определяют ситовым анализом путем просеивания навески материала через ряд калиброванных сит. Калибр сита определяется диаметром шара, равновеликого по объему наиболее крупным зернам фильтрующего материала, проходящим еще через данное сито. Для определения зернового состава и однородности из данной партии фильтрующего материала отбирают среднюю пробу в количестве 300 г и высушивают ее до постоянной массы при температуре 105 °С. Из этого количества высушенного материала берут навеску 200 г (взвешенную с точностью до 0,01 г) и рассеивают на наборе калиброванных сит. Остатки на ситах взвешивают и записывают по форме, приведенной в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Калибровка сита [2]

Калибр сита, мм	Осталось на сите		Прошло через сито	
	г	%	г	%
0,25	18	9,0	1	0,05
0,41	12	6,0	19	9,5

Продолжение таблицы 1.1

Калибр сита, мм	Осталось на сите		Прошло через сито	
	г	%	г	%
0,56	71	35,0	29	14,5
0,68	60	30,0	129	64,5
0,80	18	9,0	159	79,5
0,94	11	5,5	174	87,0
1,01	6	3,0	187	93,5
1,48	2	1,0	198	99

По данным табл. 1.1 построен график (рис. 1.4) ситового анализа фильтрующего материала, по которому можно определить основные показатели фильтрующей загрузки: эквивалентный диаметр зерен, который имеет важное значение при расчете фильтрующей загрузки; параметры, определяющие коэффициент неоднородности фильтрующей загрузки, а именно: 10%-ный калибр зерен материала, равный такому калибру сита, через который прошло 10% (по массе) просеиваемого материала, и 80%-ный калибр, равный такому калибру сита, через который прошло при просеивании 80% зерен (по массе).

Эквивалентный диаметр зерен  $d_{э}$ , мм, определяют по формуле

$$d_{э} = \frac{100}{\sum \frac{P_t}{d_k}}, \quad (1.2)$$

где  $P_t$  — процентное содержание (по массе) фракций со средним диаметром зерен  $d_k$ , т. е. количество просеиваемых зерен, %, оставшихся на сите калибром  $d_k$ .

Важным показателем качества фильтрующего материала является его механическая прочность. При истирании и измельчении материала происходит повышение гидравлического сопротивления верхнего слоя фильтрующей загрузки из-за забивания мелочью и вынос измельченных зерен с промывной водой, т.е. безвозвратная потеря фильтрующего материала. Механическую

прочность фильтрующих материалов оценивают двумя показателями: истираемостью (т. е. процентом износа материала вследствие трения зерен друг о друга во время промывок — до 0,5) и измельчаемостью (процентом износа вследствие растрескивания зерен — до 4,0).

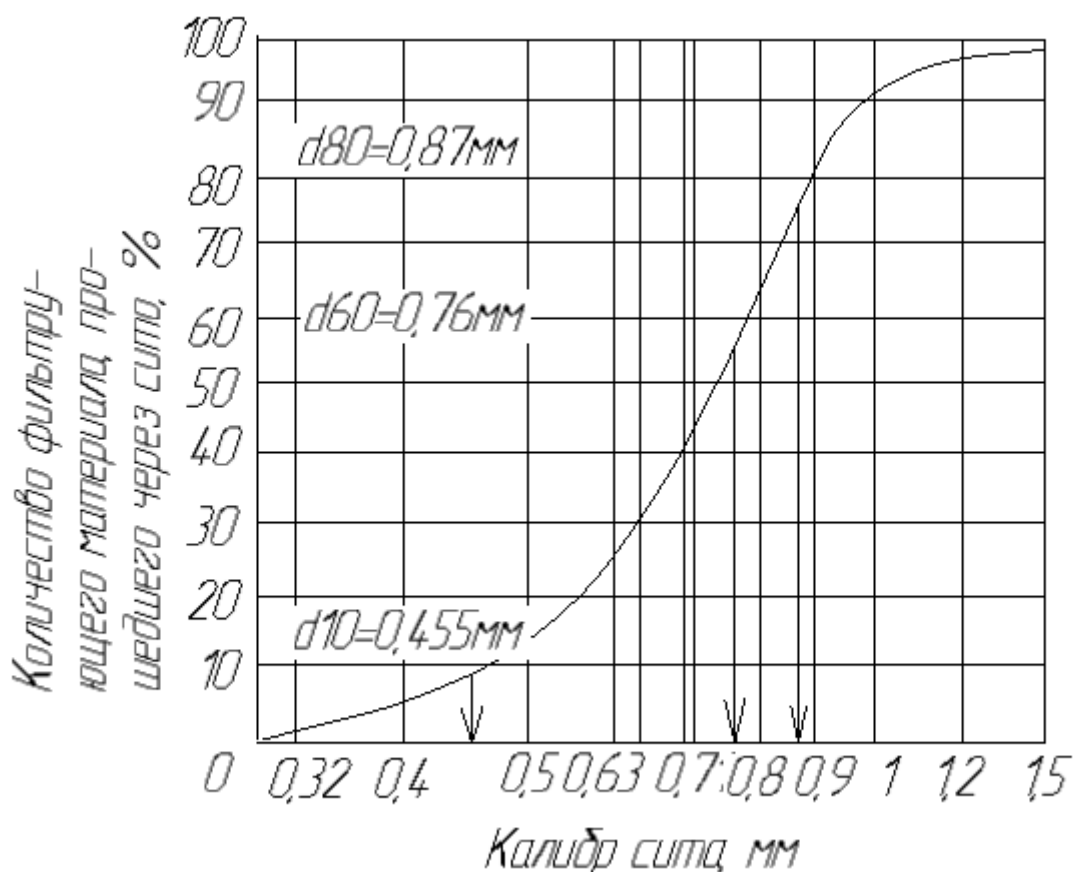


Рисунок 1.4 График гранулометрического состава песка [2]

Важным требованием, предъявляемым к качеству фильтрующих материалов, является их химическая стойкость по отношению к фильтруемой воде, т. е., чтобы она не обогащалась веществами, вредными для здоровья людей (в питьевых водопроводах) или для технологии того производства, где она используется. Фильтрующий материал считается химически стойким, если он дает прирост растворенного остатка не более 20 мг/л, окисляемости — 10 мг/л и кремнекислоты — 10 мг/л.

Кроме вышеизложенных технических требований фильтрующие материалы, используемые в хозяйственно-питьевом водоснабжении, проходят



санитарно-гигиеническую оценку на микроэлементы, переходящие из материала в воду (бериллий, молибден, мышьяк, алюминий, хром, кобальт, свинец, серебро, марганец, медь, цинк, железо, стронций).

Наиболее распространённым фильтрующим материалом является кварцевый песок — речной или карьерный. Кварцевый песок при небольшом содержании примесей известняка отвечает всем вышеперечисленным требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам. Наряду с песком применяют антрацит, керамзит, алюмосиликат, горелые породы, шунгизит, вулканические и доменные шлаки, гранодиорит, пенополистирол и др. (табл. 1.2).

Зерна дробленого антрацита имеют меньшую плотность, чем кварцевый песок, и поэтому его обычно используют в качестве верхнего слоя загрузки двухслойных фильтров. Предъявляемым требованиям по механической прочности и химической стойкости удовлетворяет антрацит классов АП — антрацитовая плита, АК — кулак и АС — мытое семечко [9]. Важнейшими характеристиками фильтрующих материалов являются межзерновая пористость засыпки  $n$ , форма зерен и плотность  $\rho$ . Зерна угловатой формы, имеющие шероховатую поверхность, характеризуются повышенным эффектом адсорбции примесей, а большая пористость засыпки обеспечивает меньшее гидравлическое сопротивление фильтрующей загрузки. Плотность зерен фильтрующего материала определяет необходимую интенсивность промывки фильтрующей загрузки, а также определяет технологический режим работы контактных осветлителей. Межзерновую пористость засыпки определяют по формуле

$$n = \left[ \frac{m}{\rho V} \right] - 1, \quad (1.3)$$

где  $m$  — масса отмытого и отсортированного материала, имеющего объем  $V$ . Форма зерен загрузки оценивается коэффициентом формы  $\alpha$ , представляющим собой отношение поверхности зерна к поверхности равновеликого по объему шара. Коэффициент формы зерен реальных загрузок всегда больше единицы.

Керамзит представляет собой гранулированный пористый материал, получаемый обжигом глинистого сырья в специальных печах. Необходимые для загрузки водоочистных фильтров фракции керамзита могут быть получены либо отсевом из общей массы неоднородного керамзита, либо дроблением крупных гранул с последующим отсевом нужных фракций. Зерна дробленого керамзита имеют более развитую поверхность и соответственно лучшие технологические свойства по сравнению с окатанными зёрнами недробленого керамзита.

Таблица 1.2 Характеристики фильтрующих загрузок [2]

Материал	Крупность зёрен, мм	Насыпная объёмная масса кг/см <sup>2</sup>	Плотность г/см <sup>3</sup>	Пористость %	Механическая прочность, %		Коэффициент формы зерна
					Истираемость	Измельчаемость	
Кварцевый песок	0,6-1,8		2,6	40			1,17
Керамзит дробленый	0,9	400	1,73	74	3,31	0,63	-
То же	0,78	380	1,68	66	2,12	0,12	4,39
То же	1,70	530	2,14	60,6	2,02	0,11	3,20
Керамзит недробленый	1,18	780	1,91	48	0,17	0,36	1,29
Антрацит дробленый	0,8		1,6	45	0,46		1,5
Горелые породы	1,0	1250	2,4	52	0,9	3,12	2,0
Шунгизит дробленый	1	650	1,8	56		4,9	1,7-2,0
Вулканические шлаки	1,1	-	2,45	63	0,07	1,05	2,0
Аглопорит	0,8-0,9	1030	2,29	54,5	1,5	1,5	-
То же	0,85	-	-	54,5	-	-	1,8
Гранодиорит	1-1,1	1320	2,65	50,0	2,8	2,8	1,7
Клиноптилолит	1-1,15	750	2,2	51,0	3,4	3,4	2,2
Гранитный песок	0,8-1,0	1660	2,72	46,0	0,11	1,4	-
Пенополистирол	1,0-4,0		0,1	41-43			1,05-1,1
Пиролюзит	0,8-1,0	2200	4,24	48,0	0,35	0,95	1,6
Алюмосиликат[7]	0,1-0,5	1500	2,45	-		0,96	-

Горелые породы представляют собой метаморфизованные угленосные породы, подвергнутые обжигу при подземных пожарах. Необходимые фракции этого материала получают его дроблением с последующей сортировкой.

Вулканические шлаки — материалы, образовавшиеся в результате скопления газов в жидкой остывающей лаве. В Закавказье вулканические шлаки залегают как в виде сыпучих материалов, так и в виде смеси щебня и песка. При этом свойства вулканических шлаков разных месторождений весьма различны.

Шунгизит получают путем обжига природного малоугленосного материала, — шунгита, который по своим свойствам близок к дробленому керамзиту.

В качестве фильтрующих материалов могут быть использованы также отходы промышленных производств, доменные шлаки и шлаки медно-никелевого производства. Достоинством шлаков является то, что они обычно имеют фракционный состав, близкий к тому, который требуется для загрузки фильтровальных аппаратов.

В качестве фильтрующего материала на фильтрах с плавающей загрузкой используют пенополистирол. Этот зернистый материал получают вспучиванием в результате тепловой обработки исходного материала — полистирольного бисера, выпускаемого химической промышленностью. При вспенивании получают плавающие в воде зерна, имеющие плотность от 100 до 200 кг/м<sup>3</sup>.

Указанные фильтрующие материалы не охватывают всего многообразия местных фильтрующих материалов, предложенных в последние годы. Имеются данные о применении аглопорита, фарфоровой крошки, гранодиорита, габбродиабазы и т. д.

Находят применение активные фильтрующие материалы, которые благодаря своим свойствам могут извлекать из воды не только взвешенные и коллоидные примеси, но и истинно растворенные загрязнения. Так, для стабилизационной обработки воды применяют мраморную крошку и магномассу. Все более широко применяют активные угли для извлечения из воды веществ, обуславливающих привкусы и запахи. Применяют природный ионообменный материал клиноптилолит для удаления из воды растворенных соединений фтора и азота. Однако, доступность и дешевизна этого материала позволяют все более широко применять его в качестве загрузки фильтровальных

аппаратов. Поддерживающие слои способствуют более равномерному распределению промывной воды по площади фильтра и поддерживают фильтрующую загрузку. В качестве поддерживающих слоев применяют гравий или щебень изверженных пород; примесь зерен известняка в них допускается не более 15%, а примесь зерен мела недопустима [2].

### **Вывод по главе 1**

Изучение кинетики осветления воды через зернистые загрузки позволило понять механизм работы фильтров. Анализ свойств зернистых загрузок показал, что кварцевый песок доступен, обладает механической и химической стойкостью. Шунгизит обладает такими же необходимыми свойствами, как керамзит, то есть механическая прочность и химическая стойкость, только более доступный. Алюмосиликат также обладает этими важнейшими свойствами для использования его в качестве фильтрующей загрузки. Таким образом, для разработанной установки целесообразно в качестве исследуемых фильтрующих материалов использовать кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), шунгизит и алюмосиликат.

## **2. Обзор и анализ существующих лабораторных стендов для механической очистки воды**

В настоящее время на рынке существует несколько вариантов лабораторных стендов, предназначенных для изучения и исследования процессов механической очистки воды, в том числе и с использованием зернистых фильтров. Ниже детально рассмотрены и проанализированы подобные серийно выпускаемые установки.

### **1) Установка «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи**

Лабораторный комплекс предназначен для очистки загрязнённой воды через фильтрующую среду с последующим изменением химических/физических характеристик воды замкнутой системы жизнеобеспечения космических летательных аппаратов. Фильтровальная установка состоит из механического песочного фильтра и химического фильтра на основе активированного угля.



Рисунок 2.1 Вид установки «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи [6]

Для начала набирается бак водой. Вода из бака поступает в отсек наглядного загрязнения воды. Далее вода, при помощи насоса, по трубам

проходит по фильтрам. Фильтры можно соединить как последовательно, так и по отдельности. После каждого фильтра предусмотрен кран, который пропускает профильтрованную воду. Так есть возможность оценить эффективность очистки воды каждого фильтра. В итоге профильтрованная вода собирается в резервуаре из нержавеющей стали, который обеспечивает наличие образцов для лабораторного анализа. Большое количество фильтровальных колонн обеспечивает высокий выбор загрузки. Достоинства и недостатки этой установки представлены в табл. 2.1.

Стоимость установки «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи – 980 940 руб.

**Состав:**

- рама;
- минеральный фильтр;
- угольный фильтр;
- манометр;
- центробежный насос;
- расходомер переменной площади;
- насос-дозатор;
- питающий резервуар;
- сборный резервуар для очищенной воды;
- термометр сопротивления;
- электронный индикатор температуры;
- электронный пульт управления;
- датчик расходомера переменной площади;
- пневматический регулирующий клапан расхода потока при подаче;
- электропневматический преобразователь;
- ПИД-регулятор на основе цифрового микропроцессора.

**Технические характеристики:**

Габариты: 2150x750x2000 мм

Вес: 460 кг

Таблица 2.1 Достоинства и недостатки установки «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"><li>-Большое количество фильтрующих установок;</li><li>-оргстекло (прозрачно);</li><li>-простота в эксплуатации;</li><li>-присутствует регуляция потока воды;</li><li>-возможно использовать большое количество воды.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Большие габариты и масса;</li><li>-использование большого количества расходного материала;</li><li>-слив вод в один сборный резервуар;</li><li>-отсутствие рекуперации;</li><li>-высокая стоимость;</li><li>-отсутствие мобильных частей (колёс);</li><li>-сложность в замене загрузки.</li></ul>

## 2) Установка «Фор Ватер» производства компании УчТехПрофи

Лабораторная установка предназначена для удаления из воды остаточного хлора, органики и улучшения органолептических показателей. Фильтр функционирует полностью в автоматическом режиме.

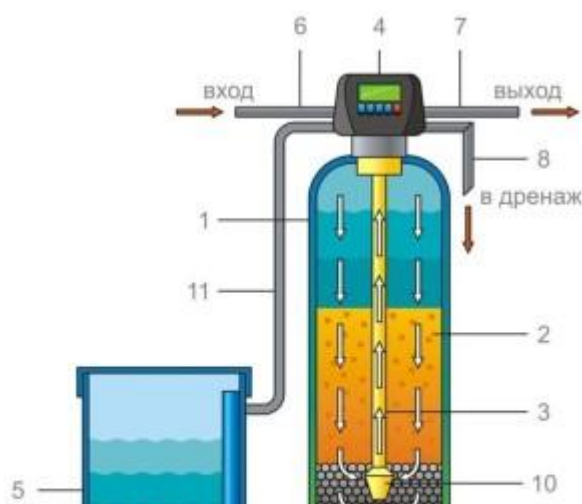


Рисунок 2.2 Вид установки «Фор Ватер» [6]

- 1-Корпус фильтра
- 2-Фильтрующая загрузка
- 3-Водоподъемная трубка
- 4-Клапан управления
- 5-Солевой бак
- 6-Вход исходной воды
- 7-Выход очищенной воды
- 8-Дренажная линия
- 9-Таблетированная соль
- 10-Нижнее дренажно-распределительное устройство.
- 11-Гравийная подложка

Процесс работы фильтра представлен на рис. 2.2.

На данном стенде вода собирается в солевом баке, куда добавляется загрязнитель. Далее, уже загрязнённая вода поступает в фильтр через клапан управления. Клапан может измерять скорость потока воды и давление. Вода промывается сначала через верхний слой загрузки, а потом проходит гравийную подложку, откуда поступает водоподъёмный патрубок. Оттуда вода поступает в следующий фильтр или на выход.

В состав дренажно-распределительной системы фильтра входят водоподъемная труба, нижний распределитель (собирает поток воды, идущей через загрузку в рабочем режиме, или равномерно распределяет поток в корпусе при промывке), верхний щелевой фильтр (предотвращает вынос загрузки). Нижний распределитель, как правило, закрывают гравийной подложкой, чтобы он не забился загрузкой, и распределение потока воды осуществлялось бы по всей площади поперечного сечения фильтра.



Фильтры с зернистыми загрузками состоят из следующих основных элементов: корпус фильтра, клапан управления, дренажно-распределительная система, гравийная подложка, фильтрующая загрузка. Корпус фильтра изготавливается из стекловолокна и представляет собой полый цилиндр с куполообразными верхом и дном. Для устойчивости нижняя часть корпуса помещается в специальное кольцевое основание. В верхней части корпуса расположена горловина, через которую осуществляется сборка и засыпка фильтра. В корпусах большого размера подобная горловина делается и снизу, чтобы облегчить выгрузку загрузки и обслуживание фильтра. Клапан управления оснащен электромеханическим приводом для переключения потоков воды и необходимой автоматикой (возможен вариант с ручным переключением клапана). Назначение клапана управления — переключение потока воды, идущей через фильтрующую загрузку для обеспечения ее своевременной промывки (регенерации). Выпускаются клапаны управления, позволяющие осуществлять промывку загрузки как в заданное пользователем время и день недели, так и по результатам измерения объема воды, прошедшего через фильтр. В зависимости от типа применяемой загрузки используются клапаны управления, позволяющие промывать ее только обратным током воды или (дополнительно) химическими реагентами (NaCl, KMnO<sub>4</sub>), хранящимися в специальном баке рядом с фильтром. Цена установки «Фор Ватер» производства компании УчТехПрофи – 443 000 руб.

Достоинства и недостатки приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 Преимущества и недостатки установки «Фор Ватер» производства компании УчТехПрофи

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Несколько видов фильтрующего материала;</li> <li>-простота в эксплуатации;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Использование большого количества расходного материала;</li> <li>-слив вод в один сборный резервуар;</li> </ul>

Продолжение таблицы 2.2

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"><li>-присутствует регуляция потока воды;</li><li>-возможно использовать большое количество воды;</li><li>-небольшие габариты и масса;</li><li>-неоднородная зернистая загрузка.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-отсутствие рекуперации;</li><li>-отсутствие видимого изменения материала при проходе воды (не стекло);</li><li>-невозможно заменить фильтрующий материал;</li><li>-высокая стоимость;</li><li>-неподвижная установка (стационарна);</li><li>-отсутствие отстойника для демонстративного осветления воды.</li></ul>

**3) Установка «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza**

Описание: Лабораторный стенд установлен на металлической раме с колесными опорами. На раме размещены элементы многоступенчатой системы водоочистки. На рисунке 2.3 представлен вид стенда.



Рисунок 2.3 Вид стенда «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza [8]

Система водоочистки состоит из последовательно соединенных корпусов. Каждый корпус снабжен сменным картриджем (механический фильтр-отстойник снабжен одноразовым картриджем, а остальные фильтры – картриджами под засыпку различных фильтрующих сред). После системы фильтрации установлен УФ-стерилизатор для биологической очистки отфильтрованной воды. Для отбора проб воды после каждого фильтра установлен кран-пробоотборник. Исполнение стенда позволяет наглядно продемонстрировать работу системы водоочистки, а также получить основное представление о замене и регенерации фильтрующей среды в системах водоочистки и водоподготовки. Детальнее показана главная рабочая часть установки на рис.2.4. Установка «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza стоит 486 860 руб.



Рисунок 2.4 Основная рабочая часть стенда

#### **Состав (основного изделия)**

- Универсальная рама с колесными опорами.
- Модуль управления и индикации.

- Фильтр-отстойник механической очистки со сменным картриджем.
- Фильтр с кварцевой фильтрующей средой.
- Фильтр с сорбирующей средой.
- Фильтр с древесным активированным углем.
- Ультрафиолетовый стерилизатор.
- Емкость исходной воды объемом 50 л.
- Емкость очищенной воды объемом 10 л.
- Насос дренажный для подачи исходной воды.
- Насос повысительный для прокачки воды через систему водоочистки.
- Насос чистой воды для возвращения очищенной воды в исходную емкость.

#### **Технические характеристики (энерго-габаритные)**

- Габариты: не более 1900 x 800 x 1910 мм.
- Масса: не более 150 кг.
- Электропитание: 220 В, 50 Гц.
- Потребляемая мощность: не более 1,5 кВт.

Таблица 2.3 Достоинства и недостатки установки «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza

Преимущества	Недостатки
-Небольшие размеры; -несколько видов фильтрующего материала; -простота в эксплуатации; -присутствует регуляция потока воды; -небольшие габариты и масса; -возможность рекуперации;	-Слив вод в один сборный резервуар; -последовательная фильтрация; -малое количество воды; -отсутствие результатов фильтрования отдельной загрузки; -трудность в замене фильтрующего материала;

Продолжение Таблицы 2.3

Преимущества	Недостатки
-использование малого количества расходного материала; -оргстекло (прозрачно).	-отсутствие отстойника для предварительной очистки воды.

**4) Установка «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи**

Комплекс предназначен для изучения процесса очистки сточных вод и его основных элементов. Реализована возможность отбора пробы воды после каждого этапа очистки, что помогает контролировать качество очищенной воды при ее прохождении через отстойник и фильтры. Позволяет изучить обеззараживающее воздействие от ультрафиолетовых лучей. Вид установки показан на рис.2.5.

Вода наполняется в первый бак, где она загрязняется. С помощью насоса она подаётся в отстойник, где происходит осветление воды. Далее по трубам она



Рисунок 2.5 Вид станда «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи [6]

поступает во второй бак. Оттуда, с помощью второго насоса, вода направляется к фильтрам. Пройдя через фильтр или фильтры, вода выводится в дополнительную ёмкость, где виден результат фильтрации. Преимущества и недостатки данного стенда представлены в табл.2.4.

Стоимость установки «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи – 438 710 руб.

**Состав:**

- Несущая рама (выполнена из коррозионностойкого металла либо окрашена порошковой краской, габариты не более 2000 x 1600 x 800);
- вертикальный отстойник (выполнен из прозрачного пластика, размером не менее 600x300x200мм, имеет внутренние устройства для эффективного отстаивания взвешенных частиц) – 1 шт.;
- песчаный фильтр (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки не менее 4мм, высота корпуса фильтра не менее 1м, загрузка фильтра – песок, размер – 0,5-1,0мм, высота слоя не менее 600мм) – 1 шт.;
- фильтр сорбирующий (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки не менее 4мм, высота корпуса фильтра не менее 1м, загрузка фильтра – фильтрующая среда Вirm, эффективный размер – 0,48 мм, высота слоя не менее 600мм) – 1 шт.;
- угольный фильтр (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки не менее 4мм, высота корпуса фильтра не менее 1м, загрузка фильтра – активированный уголь, эффективный размер – 0,6-1,7 мм, высота слоя не менее 600мм) – 1 шт.;
- ультрафиолетовый обеззараживатель (производительность 0,5 м<sup>3</sup>/ч, габаритные размеры не более 300x80x80мм, мощность лампы 14Вт, корпус – нержавеющая сталь SS-304, присоединительные размеры вход/выход ½) – 1 шт.;

- резервуар исходной воды (бак из прозрачного пластика, ёмкость не менее 100л, универсальные крепления к несущей раме) – 1 шт.;
- ёмкость для очищенной воды (бак из прозрачного пластика, ёмкость не менее 50л, универсальные крепления к несущей раме) – 1 шт.;
- питающий насос (центробежный, производительность не менее 180л/ч, развиваемый напор не менее 4бар, потребляемая мощность не более 200Вт) – 2 шт.;
- методическое пособие по проведению лабораторных работ – 1 шт.;
- паспорт – 1 шт.;
- измерительно-аналитическое оборудование.

**Технические характеристики:**

- габаритные размеры, мм, не более 2000 x 1600 x 800;
- предельное давление, 6 бар;
- электропитание от сети переменного тока;
- напряжением 220 ± 22 В - частотой 50 ± 0,4 Гц;
- потребляемая мощность, кВт, не более 3,5;
- масса, кг, не более 220.

Таблица 2.4. Достоинства и недостатки установки «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи

Преимущества	Недостатки
-Полный комплекс очистки; -несколько видов фильтрующего материала; -простота в эксплуатации; -присутствует регуляция потока воды;	-простейший малоэффективный отстойник; -трудность в замене фильтрующей загрузки; -высокая стоимость;

Продолжение таблицы 2.4

Преимущества	Недостатки
-использование малого количества расходного материала; -оргстекло (прозрачно)	

### **Вывод по главе 2**

Обзор лабораторного оборудования, представленного на рынке, показал, что у существующих установок, позволяющих реализовать фильтрацию через зернистые загрузки есть ряд недостатков. В установке «Фильтрация воды» производства компании УчТехПрофи отрицательными качествами являются большие габариты, высокая стоимость и неподвижность. В установке «Фор Ватер» производства компании УчТехПрофи главная отрицательная сторона – отсутствие видимого процесса очистки воды. У установки «Изучение способов очистки воды от взвешенных веществ» производства компании ПО LMS Zarnitza также много недостатков, но отсутствие отдельной фильтрации воды только одной загрузкой является основным. В качестве образца лучшим вариантом является установка «Очистка сточных вод» производства компании УчТехПрофи, так как среди существующих стендов она обладает меньшим количеством недостатков и лучшим набором достоинств. В связи с этим при разработке оригинального лабораторного стенда следует учесть все недостатки.



### **3. Разработка лабораторного стенда для механической очистки воды**

Разработанная установка представляет собой единый блок, на раме которого смонтировано технологическое оборудование, система управления и баки для использования воды. В установке предусматривается две стадии очистки: отстаивание модельного стока в вертикальном отстойнике, оснащённым тонкослойными элементами; а также механическое фильтрование в колоннах с зернистыми загрузками. На базе данного стенда студенты смогут изучать основные процессы механической очистки воды, а также способы её интенсификации.

#### **3.1 Основной состав установки**

Комплекс предназначен для изучения процесса механической очистки сточных вод. В конструкции разработанной установки были учтены и исправлены недостатки существующих аналогов, а также реализована возможность отбора пробы воды после каждого этапа очистки, что помогает контролировать качество очищенной воды при ее прохождении через отстойник и фильтры. Вид установки представлен на рисунке 3.1.

Лабораторный стенд устанавливается на металлической раме (10) с колесными опорами. На раме размещаются элементы многоступенчатой системы водоочистки: отстойник (2), фильтр с песчаной загрузкой, фильтр с загрузкой из алюмосиликата, фильтр с активированным углём (1). Система водоочистки состоит из корпусов фильтров, которые могут работать как последовательно, так и параллельно. Каждый корпус снабжается своей зернистой загрузкой. При необходимости её можно заменить. Перед системой фильтрации устанавливается тонкослойный отстойник (2), для предварительного осветления воды. Для отбора проб воды после каждого фильтра устанавливается кран-пробоотборник. Исполнение стенда позволяет наглядно продемонстрировать работу системы водоочистки, а также получить

основное представление о замене и регенерации фильтрующей среды в системах водоочистки и водоподготовки.

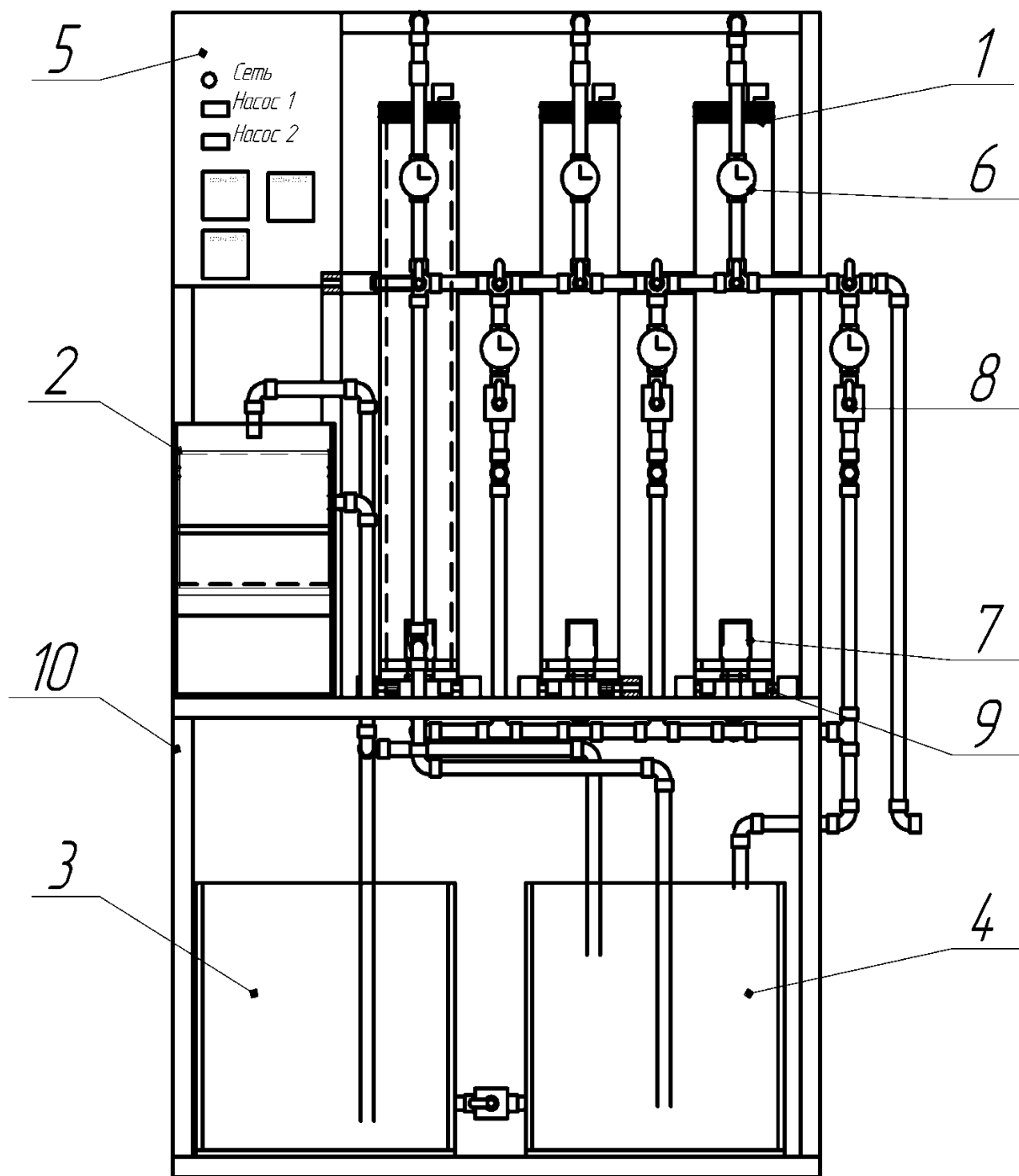


Рисунок 3.1 Главный вид установки

1 – фильтрующая колонна; 2 – отстойник; 3 – бак с загрязнённой водой; 4 – баки с очищенной водой; 5 – блок питания и контроля установки; 6 – манометр; 7 – дренажно-распределительная система; 8 – шаровой кран; 9 – шарниры; 10 – рама.

### **Состав установки**

- Несущая рама (выполнена из коррозионностойкого металла и окрашена порошковой краской, габариты не более 1155 x 1700 x 750);
- Тонкослойный отстойник (выполнен из прозрачного пластика, размером не менее 460x400x260мм, имеет внутренние устройства для эффективного отстаивания взвешенных частиц) – 1 шт.
- Песчаный фильтр (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки 10мм, высота корпуса фильтра не менее 850мм, загрузка фильтра – песок, размер – 0,5-1,0мм, высота слоя не менее 500мм) – 1 шт.
- Фильтр алюмосиликатный (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки 10мм, высота корпуса фильтра не менее 850мм, загрузка фильтра – алюмосиликат, эффективный размер – 0,48 мм, высота слоя не менее 500мм) – 1 шт.;
- Угольный фильтр (выполнен из прозрачного, бесшовного пластика круглого сечения, толщина стенки 10мм, высота корпуса фильтра 850мм, загрузка фильтра – активированный уголь, эффективный размер – 0,6-1,7 мм, высота слоя не менее 500мм) – 1 шт.;
- Резервуар исходной воды (бак из прозрачного пластика, емкость 85л, универсальные крепления к несущей раме) – 1 шт.;
- Емкость для очищенной воды (бак из прозрачного пластика, емкость 40л, универсальные крепления к несущей раме) – 1 шт.;
- Питающий насос (дренажный, производительность более 180л/ч, развиваемый напор не менее 4бар, потребляемая мощность не более 250Вт) – 2 шт.;

### **Технические характеристики:**

- Габаритные размеры, мм, не более 1155 x 1700 x 750;
- Предельное давление, 6 бар;
- Электропитание от сети переменного тока;

- Напряжением  $220 \pm 22$  В - частотой  $50 \pm 0,4$  Гц;
- Потребляемая мощность, кВт, не более 3,5;
- Масса, кг, не более 220

### Преимущества разработанного стенда:

- полный комплекс очистки;
- несколько видов фильтрующего материала;
- простота в эксплуатации;
- присутствует регуляция потока воды;
- использование малого количества расходного материала;
- полиметилметакрилат (прозрачно);
- компактность;
- возможность замены фильтрующего материала;
- использование тонкослойного отстойника.

### Принцип действия установки

Технологическая схема работы лабораторного стенда представлена на рис.3.2.

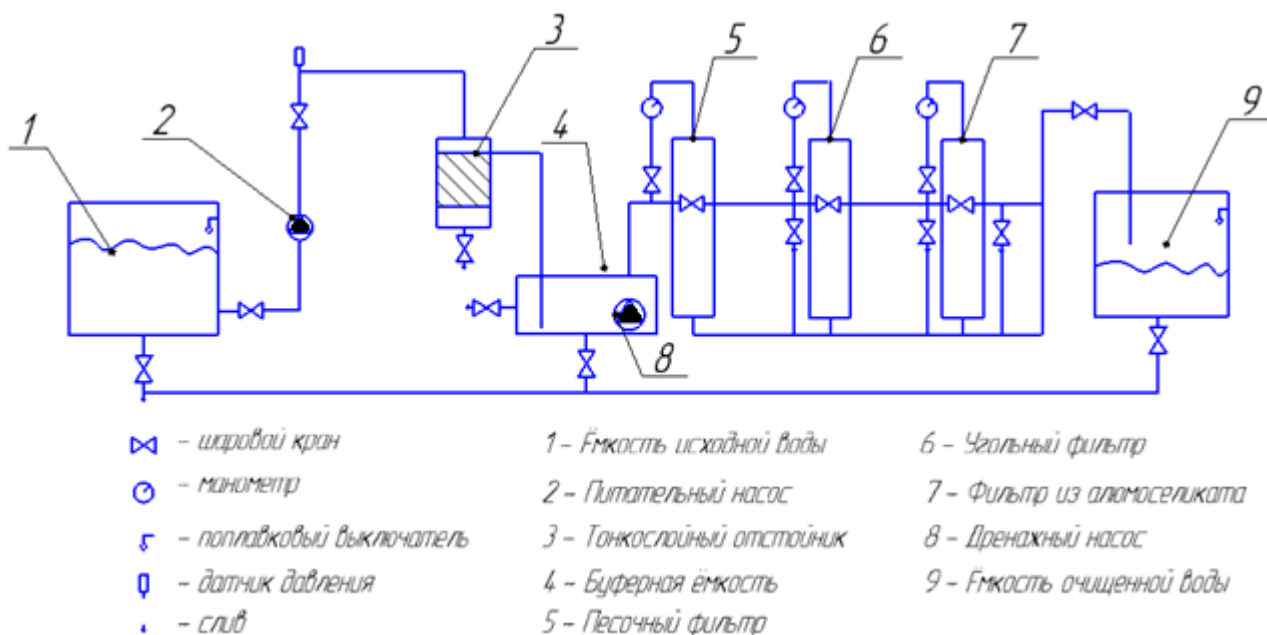


Рисунок 3.2. Технологическая схема

Для начала в ёмкость (1) набирается вода. Для изучения процесса фильтрации, добавляется в исходную воду загрязнитель, в качестве которого можно использовать мелкий песок, муку, золу и другие взвеси. Дренажным насосом (2) под определённым давлением, загрязнённая вода отправляется в тонкослойный отстойник (3). Есть возможность регулировать подачу насоса. В отстойнике происходит первая стадия очистки – осаждение взвеси. Благодаря наклонным полкам отстойника, процесс осаждения частичек загрязнителя ускоряется. Для дополнительной интенсификации процесса воду можно обработать коагулянтom. После прохождения тонкослойного отстойника вода направляется в буферную ёмкость (4). Где она накапливается до определённого уровня, чтоб достаточное количество воды под напором подать на фильтры. На выходе воды из трубы, есть возможность проверки качества отстаивания. Из буферной ёмкости вода, благодаря второму дренажному насосу (8), отправляется в фильтры (5,6,7). Фильтры можно соединить как последовательно, так и по отдельности. Таким образом, есть возможность узнать качество очистки воды, как отдельной загрузки, так и всех загрузок, когда они вместе очищают воду. Чтобы постоянно контролировать состояние загрязнения фильтров, перед входом и на выходе из них стоят манометры. После фильтров очищенная вода поступает в бак для сбора очищенной воды (9). Очищенная вода может использоваться повторно для приготовления модельного стока.

После окончания лабораторной работы необходимо слить воду из всей установки. Для облегчения опорожнения все емкости при помощи трубопроводов объединены. Слив осуществляется при помощи одного насоса.

Чтобы произвести замену фильтрующей зернистой загрузки в фильтрах необходимо сделать следующее:

- 1) ослабить поддерживающее крепление на фильтрах;
- 2) извлечь удерживающие шпильки на удерживающей балке, придерживая саму балку, чтобы не упала;

- 3) снять балку или поднять её наверх, где предусмотрены отверстия для шпилек;
- 4) выбрать фильтр, в котором нужно заменить загрузку;
- 5) открутить в нижней части фильтра соединительную трубу;
- 6) открутить в верхней части фильтра соединительную трубу.
- 7) опустить фильтр и открыть крышку.

Установка происходит в обратном порядке.

### **3.2 Первый этап очистки. Отстойник**

На данном лабораторном стенде используется тонкослойный отстойник. По характеру работы он непрерывного действия. По направлению движения воды – противоточный, что позволяет лучше улавливать крупные частицы. Отстойник играет роль осветления воды, так как стоит в самом начале процесса очистки воды. Способ выгрузки осадка – прямой смыв его в бак с загрязнённой водой (гидростатический). Для этого предусмотрен кран и отверстие для слива на дне отстойника, которое ведёт осадок прямо в первый бак. В сооружении тонкослойного осветления осаждение взвеси протекает в малом слое воды, образуемом устройством наклонных элементов, обеспечивающих быстрое выделение взвеси и её сползание по наклонной поверхности в зону хлопьеобразования и осадкоуплотнения. Повышение эффекта осветления достигается за счёт уменьшения времени осаждения. Отстойник предназначен для выделения взвешенных веществ из воды и располагаются в технологической схеме непосредственно после бака с загрязнённой водой. Эффект осветления составляет 40-60%, в зависимости от загрязнителя. На рисунке 3.3 представлен разработанный отстойник. Корпус отстойника на схеме отмечен позицией 1. Внутри него помещён блок с наклонными пластинами (2). В корпусе вода

проходит через вход, наполняет донный отсек, поднимаясь, вода проходит сквозь пластины насадки. Далее вода переливается в отсек для отведения воды, откуда она по трубам отправляется в буферную ёмкость. Блок с пластинами (2) можно вынимать, так как стоит на подпорках, а по бокам стоят стенки. Он выполняет дополнительную функцию отстаивания, которая обеспечивает лучшую эффективность.

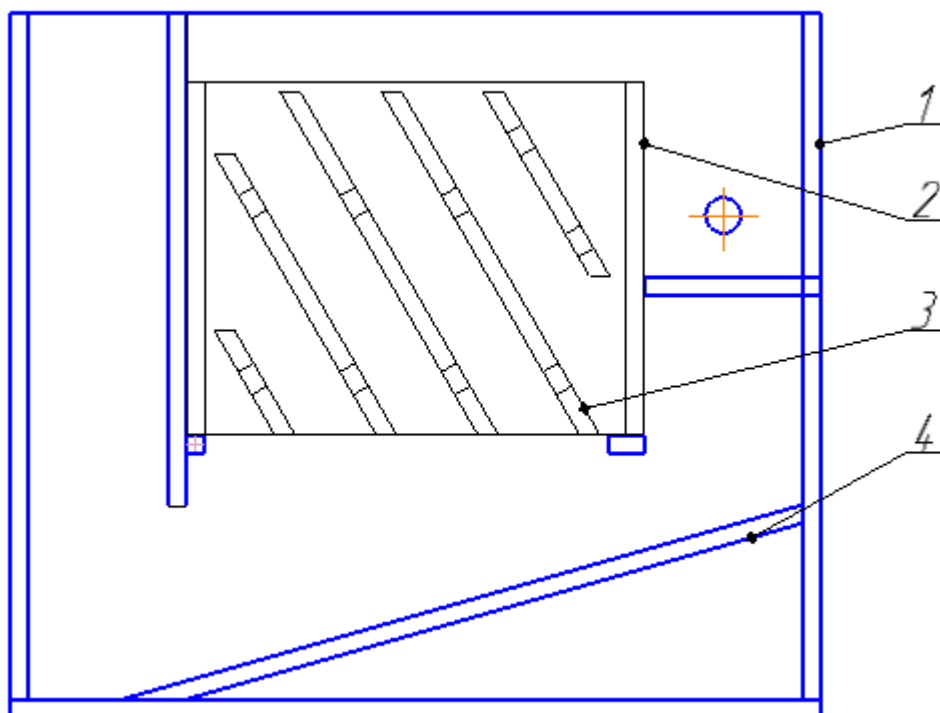


Рисунок 3.3 Вид отстойника

*1 – корпус отстойника; 2 – блок с наклонными пластинами; 3 – наклонные пластины; 4 – осадительное дно.*

Наклонные пластины (3) (полки), под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту. Имея такой угол, отстойник показывает лучшее осветление. Шаг между пластинами 57 мм. Количество штук – 5. Крепятся они к стенкам, благодаря выступам по краям. Осадительное дно (4) обеспечивает скатывание осадка вниз. Это позволяет удалять осадок с отстойника без усилий. Осадительное дно расположено под углом  $\beta=15^\circ$ .

### 3.3 Второй этап очистки. Фильтры. Основной процесс

Вторым этапом идёт процесс непосредственного фильтрования. Фильтрование – разделение неоднородных систем (жидкость – твёрдые частицы)



Рисунок 3.4 Песок, алюмосиликат и активированный уголь

в специальных аппаратах – фильтрах, снабжённых пористыми фильтровальными перегородками. Фильтрование применимо для очистки воды от тонкодисперсных примесей с малой концентрацией.

Фильтры на зернистых загрузках классифицируют следующим образом: а) по скорости фильтрования – скорые (10 м/ч); б) по давлению, под которым они работают – открытые (безнапорные); в) по направлению направляющего потока – однопоточные (обычные скорые фильтры); г) по крупности фильтрующего материала – мелкозернистые и среднезернистые; д) по количеству фильтрующих слоёв – однослойные.

Фильтрующий слой состоит из отсортированного зернистого материала, обладающий достаточной химической стойкостью и механической прочностью. Для проведения лабораторных работ предлагается базовый набор. Это песок, алюмосиликат и активированный уголь (Рисунок 3.4). Для сравнения можно добавить керамзит, зёрна дроблённого антрацита, горелые породы или вулканические породы.

Распределительная (дренажная) система является важным элементом фильтра. Она должна собирать и отводить профильтрованную воду без выноса зёрен фильтрующего материала и при промывке равномерно распределять



промывную воду по площади фильтра. Равномерность распределения промывной воды по площади в таких системах достигается вследствие большого сопротивления движению воды через проходные отверстия. На рисунке 3.5 показан используемый фильтр. Корпус самого фильтра - позиция 1, выполнен из органического стекла, что позволит наблюдать за процессом очистки воды без использования дополнительной аппаратуры.

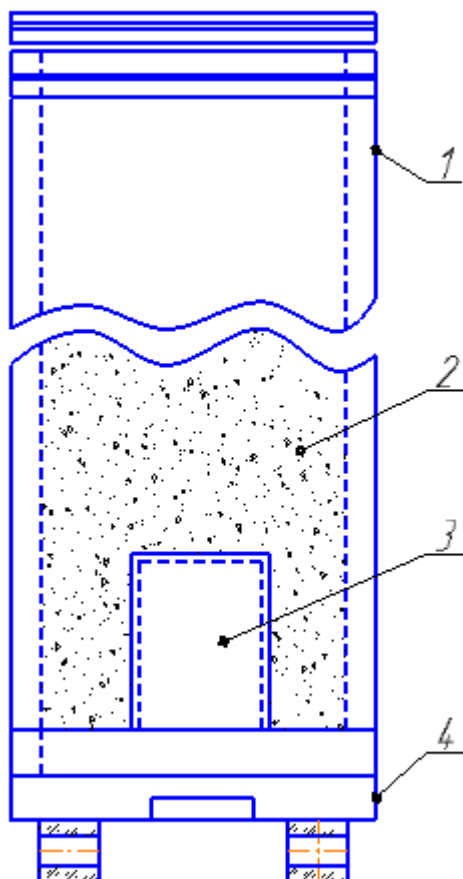


Рисунок 3.5 Фильтрующая колонна

*1 – корпус фильтра; 2 – загрузка фильтра; 3 – дренажно-распределительная система; 4 – основа фильтра.*

На рисунке 3.5 показан используемый фильтр. Корпус самого фильтра - позиция 1, выполнен из органического стекла. На рисунке загрузка фильтра обозначена позицией 2. В зависимости от фильтра загрузка может быть разная. Причём её можно менять. Зернистая загрузка занимает 75% пространства цилиндра, так как это обеспечивает возможность регенерации фильтра. Дренажно-распределительная система обозначена позицией 3. В данном случае

используются колпаки. Благодаря им зернистая загрузка не вымывается, а остаётся в фильтре. А сверху вода подаётся равномерно, чтобы процесс фильтрации происходил максимально качественно. Основа, к которой крепится фильтр – позиция 4. Крепится он шестью болтами к основному корпусу. Ножки, на которых стоит цилиндр, держат конструкцию на шарнирах. Шарниры позволяют наклонять фильтр так, чтобы была возможность проводить замену загрузки без особого труда.

### **Вывод по главе 3**

В данной главе разработана технологическая схема, а также описан последовательный принцип работы лабораторной установки. Представлена конструкция экспериментального лабораторного стенда для изучения процессов механической очистки воды, а также приобретения практических навыков работы с отстойником и зернистыми фильтрами. Главными элементами стенда значатся отстойник, фильтры, баки. Соответственно показан вид отстойника, который является частью стенда, описан принцип его работы. Предложен вид и принцип работы фильтра, который позволяет наблюдать процесс фильтрования через загрузку с различными свойствами. Главными особенностями данной установки является простота конструкции и удобство эксплуатации. Кроме того, данный стенд отличается мобильностью и компактностью.

## 4. Техничко-экономический расчёт установки

### 4.1 Технологический расчёт элементов установки

Для разработки лабораторного стенда для механической очистки воды на зернистых загрузках необходимо было рассчитать:

1. объём бака с загрязнённой водой;
2. объём бака с водой после предварительной очистки отстойника;
3. объём бака с очищенной водой;
4. отстойник;
5. шаг и количество полок в отстойнике;
6. объём фильтрующих цилиндров;
7. высоту загрузки цилиндров.

Данные расчёты необходимы для:

- определение габаритных и установочных размеров сборочных единиц. Также построение пути прохождения потока воды по трубопроводу. Это необходимо для просчёта количества деталей для закупки водонаправляющих элементов, таких как: трубы, тройники, краны, уголки. Что значительно упрощает построение всей установки, ведь построив все комплектующие можно определить оптимальные габариты лабораторного стенда;
  - определения установки подпорных балок, на которые устанавливаются данные комплектующие;
  - определения массы установки;
  - определения количества расходных материалов, таких как: песок, алюмосиликат и активированный уголь;
  - объёма расходуемой воды, для проведения лабораторной работы;
1. Расчет объёма бака с загрязнённой водой;

$$V_1 = B_1 * L_1 * H_1 \quad (4.1)$$

$B$  – ширина ёмкости,  $L$  – длина ёмкости,  $H$  – высота ёмкости.

$$V_1 = 3,8 * 5,8 * 3,9 = 86 \text{ л.}$$

Максимальное количество воды, необходимое для использования и проведения лабораторной работы.

2. Расчет объёма бака с водой с предварительной очисткой после отстойника;

$$V_2 = B_2 * L_2 * H_2$$

$$V_2 = 2,8 * 3,8 * 3,9 = 41.5 \text{ л.}$$

3. Расчёт объёма бака с очищенной водой;

$$V_3 = B_3 * L_3 * H_3$$

$$V_1 = 2,8 * 3,8 * 3,9 = 41.5 \text{ л.}$$

4. Расчёт отстойника;

А) Определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ ;

$$u_0 = \frac{1000H_{set}K_{set}}{t_{set} \left( \frac{H_{set}K_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} \quad (4.2)$$

$K_{set}$  – коэффициент использования объёма;

$H_{set}$  – глубина проточной части в отстойнике, м;

$t_{set}$  – продолжительность отстаивания;

$h_1$  – глубина слоя;

$n_2$  – показатель степени, берётся из СП.

$$u_0 = \frac{1000 * 0,39 * 0,5}{300 \left( \frac{0,39 * 0,5}{0,1} \right)^{0,3}} = 0,53, \text{ мм/с}$$

Б) Принимается количество отделений отстойников  $n$  за 1, т.к. используется 1 отстойник;

В) Определяется длина пластин  $L_{bl}$ ;

$$L_{bl} = \frac{h_{ti}v_w}{u_0}, \text{ м} \quad (4.3)$$

$h_{ti}$  – высота яруса тонкослойного блока, м;

$v_w$  – скорость рабочего потока, мм/с.

Так, как и эта формула используется для расчёта отстойника для сточных вод, то придётся пренебречь данной величиной. Моделируя блок отстойника,

принимая  $L_{bl}$  за 22,5 см. Этот размер позволяет наблюдать процесс осаждения мелкодисперсных загрязнённых веществ и входит в рамки отстойника.

Г) Назначается ширина тонкослойного блока, равная ширине секции отстойника  $B_{bl} = B_{set}$ . Назначается угол  $\alpha$  наклона пластин к горизонту, равный 60 градусов;

$B_{bl} = 24$  см.

Д) Определяется длина зоны тонкослойного отстаивания  $l_b$ :

$$l_b = \frac{q_w}{3,6nB_{bl} K_{set} v_w}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Так, как и эта формула используется для расчёта отстойника для сточных вод, то придётся пренебречь данной величиной и принять за 26 см. Этот размер вписывается в рамки отстойника.

Е) Находится общая длина отстойника  $L_{стр}$ :

$$l_2 = L_{bl} \cdot \sin(90-\alpha), \text{ м}; \quad (4.5)$$

$$l_2 = 0,26 \cdot \sin(90-60) = 0,13, \text{ м};$$

$$L_{стр} = l_1 + l_h + l_2 + l_3; \quad (4.6)$$

$$L_{стр} = 0,08 + 0,16 + 0,13 + 0,09 = 0,46 \text{ м},$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонту, равный 60;  $l_1$  – длина зоны выделения крупных примесей, равная 8 см;  $l_h$  – 0,16 м;  $l_3$  – зона вывода воды, равная 9 см.

Ё) Находится общая высота отстойника  $H_{стр}$ :

$$h_2 = L_{bl} \cdot \sin\alpha, \text{ м}; \quad (4.7)$$

$$h_2 = 0,2 \cdot \sin 60 = 0,17, \text{ м};$$

$$H_{стр} = h_1 + h_2 + h_c; \quad (4.8)$$

$$H_{стр} = 0,15 + 0,17 + 0,07 = 0,39 \text{ м},$$

где  $h_1$  – высота до пластин;  $h_2$  = высота насадки с пластинами;  $h_c$  – высота для переливания воды.

5. Расчёт шага и количество полок в отстойнике:

Чтобы максимально эффективно использовать место, пластины (полки) наклонены под углом  $\alpha=60^\circ$  относительно горизонта. Так же, благодаря наклону,

эффективнее будет происходить процесс осветления воды. Толщина одной пластины равна 10 см. шаг между пластинами 57 см.

Количество полок равно:

$$N = \frac{L}{k * \sin 60'} \quad (4.9)$$

где L – длина, отведённая для полок отстойника;

k – шаг между пластинами.

$$N = \frac{24}{5.5 * \sin 60} = 5.04, \text{ шт.}$$

Берём ближайшее меньшее целое число, N = 5 шт.

6. Расчёт фильтров:

А) По таблице 4.1 выбираются необходимые для дальнейшего расчёта параметры – скорость фильтрования при нормальном ( $v_{\phi}$ ) и форсированном режиме ( $v_{\phi, \phi}$ ), м/ч. Интенсивность промывки водой и воздухом  $w$ , л/(с\*м<sup>2</sup>), а также продолжительность промывки  $t$ , мин, и продолжительность фильтроцикла  $T_{\phi}$ , ч. показаны в таблице 4.2.

Б) Определяется расчётный расход сточной воды, подаваемой на фильтры  $Q_{\phi}$ :

$$Q_{\phi} = 20,4 q_w, \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}, \quad (6.10)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой приток загрязнённой воды, м<sup>3</sup>/ч.

$$Q_{\phi} = 20,4 * 0,086 = 1,75, \text{ м}^3 / \text{сут}$$

В) Находится количество промывок каждого фильтра за сутки  $n$ :

$$n = \frac{24}{T_{\phi}} \quad (6.11)$$

$$n = \frac{24}{2} = 12$$

Г) Рассчитывается общая площадь фильтров  $F_{\phi}$ :

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\phi}(1 + m)}{v_{\phi} \left( T - \frac{nt_4}{60} \right) - 0.06n(w_1 t_1 + w_2 t_2 + w_3 t_3)}, \text{ м}^2, \quad (4.12)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий расход воды на промывку барабанных сеток, так как в установке их нет, можем пренебречь,  $m=0$ ;  $w_1$  – интенсивность, л/(с\*м<sup>2</sup>) начального взрыхления верхнего слоя загрузки продолжительностью  $t_1$ , мин;  $w_2$  – интенсивность подачи воды, л/(с\*м<sup>2</sup>) с продолжительностью водо-воздушной промывки  $t_2$ , мин;  $w_3$  – интенсивность промывки, л/(с\*м<sup>2</sup>) продолжительностью  $t_3$ , мин;  $t_4$  – продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой, равная 1 мин;  $T$  – продолжительность работы установки в течение суток, ч.

Начальное гидравлическое взрыхление верхнего слоя принимается только для фильтров с подачей воды сверху вниз с интенсивностью 0,9 л/(с\*м<sup>2</sup>) и продолжительностью  $t_1 = 1 - 1,2$  мин. Интенсивность подачи воды  $w_2$  учитывается в формуле (4.12) только в случае применения водо-воздушной промывки загрузки.

$$F_{\phi} = \frac{1,75}{6 \left(1 - \frac{12}{60}\right) - 0,06 * 12(0,9 * 1 + 0,5 * 1)} = 0,46, \text{ м}^2$$

Д) Определяется число секций фильтров  $N$  и площадь одной секции фильтра  $F_1$ :

$$N = 0,5 \sqrt{F_{\phi}}; \quad (4.13)$$

$$N = 0,5 \sqrt{0,46} = 0,35$$

Округляем до целого значения,  $N = 1$ . Для лабораторной установки одного фильтра достаточно.

$$F_1 = \frac{F_{\phi}}{N}, \text{ м}^2 \quad (4.14)$$

$$F_1 = \frac{0,46}{1} = 0,46 \text{ м}^2$$

По рассчитанной площади  $F_1$  принимаются размеры в плане одного фильтра.

Е) Рассчитывается скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы. Для выполнения лабораторных работ это можно не учитывать. Потому что поток воды рассчитан на нормальный режим работы одного фильтра.

Таблица 4.1 Область применения фильтра и эффективность очистки [3]

Фильтр		Вариант применения	Эффект очистки, %	
			По БПК <sub>полн</sub>	По взвешенным веществам
Однослойные с нисходящим потоком	Мелко-зернистые	Доочистка производственных стоков после механической очистки для задержания	50-60	70-75
	Крупно-зернистые	мелкодисперсных взвешенных частиц, а также биологически очищенных городских сточных вод	35-40	45-50

В «СП 31.13330.2012. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: нормативно-технический материал.» данная таблица показывает эффективность очистки применяемых зернистых фильтров. Учитываются только фильтры однослойные с нисходящим потоком, так как в лабораторной установке используются только такие фильтры.



Таблица 4.2 Расчётные параметры фильтров с зернистой загрузкой [3]

Фильтр		1	Однослой- ный мелкозер- нистый с подачей воды сверху вниз	Однослой- ный крупнозерн истый с подачей воды сверху вниз	
Парамет- ры фильтру- ющей загрузки	Фильтрующий материал		2	Кварцевый песок, поддержива ющий слой - гравий	Гранитный щебень
	Гранулометри ческая характеристи- ка загрузки d, мм	Минималь ная	3	1,2; 2; 5; 10; 20	3
		Максимал ьная	4	2; 5; 10; 20; 40	10
		Эквивален тная	5	1,5-1,7	5,5
Высота слоя, м		6	1,2-1,3	1,2	
Скорость фильтрава ния, м/ч, при режиме	Нормальном		7	6-7	16
Интенсивность промывки, л/(с*м <sup>2</sup> )		8	Вода (7)	Вода (15)	
Продолжительность этапов промывки, мин		9	2	3 4 3	
Продолжительность фильтрования, ч		1 0	12	12	

Для производства и конструирования лабораторной установки можно не придерживаться строгих расчётов и правил, так как основной целью является – наглядное представление процесса фильтрации. Поэтому высоту цилиндров берём за 85 см, так как это будет удобно в эксплуатации. Причём данная высота позволяет наклонять цилиндры для последующей смены загрузки или опустошения фильтра.

7. Высота загрузки цилиндров:

Объём загрузки высчитывается по формуле (4.15)

$$V_з = \pi r^2 l \cdot 0.75, \text{ л} \quad (4.15)$$

$$3.14 \cdot 1,21 \cdot 8,5 \cdot 0.75 = 24,2 \text{ л.}$$

Чтобы определить высоту загрузки, необходимо длину внутренней пустой части разделить на 4. На  $\frac{3}{4}$  заполнить загрузкой, а  $\frac{1}{4}$  оставить пустой. Это свободное пространство необходимо, потому что при обратной промывке загрузка фильтра поднимается на данную высоту.

## 4.2 Экономический расчёт установки

Выполнение экономического расчёта позволяет понять, целесообразно ли было выполнять разработку нового стенда. Поэтому одной из задач дипломной работы является – разработка более доступного лабораторного стенда для механической очистки воды. В таблице 4.3 представлены названия элементов, которые необходимо приобрести для изготовления установки, их количество. Представлена рыночная актуальная цена изделия и итоговая стоимость.

Таблица 4.3 Расчёт затрат на комплектующие установки

Название	Количество	Цена	Стоимость
Автоматический воздухоотводчик	3	600р.	1 800р.
Балки профильные [12]	28	73р.	2 044р.
Блок питания и контроля	1	20 000р.	20 000р.

Продолжение таблицы 4.3

Название	Количество	Цена	Стоимость
Болты М16*50мм	18	118р.	2 124р.
Бугельный замок [15]	3	400р.	1 200р.
Датчики уровня воды [13]	3	2 950р.	8 850р.
Детали из оргстекла	1	35 000р.	35 000р.
Дренажно- распределительная система	6	120р.	720р.
Зернистая загрузка [16] [17]	3*24	180р.	12 960р.
Клей	1	700р.	700р.
Клипса	10	56р.	560р.
Колесо	4	300р.	1 200р.
Кран шаровой [18]	8	627р.	5 016р.
Кран шаровой 3-ходовой [18]	6	5 045р.	30 270р.
Манометр	6	210р.	1 260р.
Муфта связующая [18]	6	220р.	1 320р.
Насос	2	4 800р.	9 600р.
Регулятор потока [18]	1	5 000р.	5 000р.
Тройник [18]	14	50р.	700р.
Труба 5м [18]	4	75р.	300р.
Уголок [18]	24	41р.	984р.
УЗО АВВ В16 S202	1	1 007р.	1 007р.
Хомут для крепления	3	148р.	444р.
Шарнир	6	183р.	1 098р.
Шланг [14]	2	200р.	400р.
Шпилька	2	150р.	300р.
Доставка изделий	1	1 500р.	1 500р.

#### Продолжение таблицы 4.3

Название	Количество	Цена	Стоимость
Сварочные работы	2	6 000р.	12 000р.
Итого:			158 057р.

По итогам экономического расчёта, стоимость установки равна 158 057 рублям. Что значительно дешевле стоимости аналогичных установок, представленных на рынке (см. Гл.2).

#### **Вывод по главе 4**

По технологической схеме и с учётом исходных данных, были проведены технологические расчёты элементов этой схемы. Определены габариты и объём отстойника, шаг и количество наклонных пластин в съёмном элементе. Найдены габариты и объём всех баков, в которых набирается исходная и очищенная вода. Принята высота цилиндра и рассчитан объём фильтровальных колонн. Также рассчитана высота слоя загрузки.

Проведён расчёт затрат на комплектующие установки, указана стоимость необходимых работ для сборки основной конструкции стенда. Экономический расчёт показал меньшую итоговую стоимость разработанного стенда по сравнению с аналогами, а, следовательно, целесообразность его производства.

## 5. Заключение

Очистка воды с помощью фильтрования на зернистых загрузках на протяжении многих лет является неотъемлемой частью большинства технологических схем водоочистки и водоподготовки. Тем не менее, идет постоянный процесс совершенствования методов фильтрации, тестирование новых загрузок, режимов работы фильтров и т.д. Все это делает целесообразным использование в учебном процессе лабораторных установок, позволяющих моделировать очистку воды с использованием фильтров с зернистой загрузкой.

В ходе работы был проведён анализ свойств зернистых загрузок показал, что с учетом таких свойств как: стоимость, доступность, механическая прочность и химическая стойкость по отношению к фильтрующей воде, для разработанной установки целесообразно в качестве исследуемых фильтрующих материалов использовать кварцевый песок; шунгизит; алюмосиликат.

Обзор представленного на рынке лабораторного оборудования, показал, что у существующих установок, позволяющих реализовать фильтрование через зернистые загрузки есть ряд недостатков главными из которых являются высокая стоимость и трудоёмкая замена зернистой загрузки.

Для нового лабораторного стенда разработана технологическая схема механической очистки воды, основными элементами которой являются цилиндры с фильтрующей загрузкой и тонкослойный отстойник. В соответствии с технологической схемой осуществлен подбор оборудования. Конструктивные параметры стенды были подобраны исходя из ограничений на геометрические параметры стенда и объемы воды, который может использоваться в ходе выполнения лабораторных работ.

По выполненным расчётам были определены размеры необходимых элементов лабораторного стенда. Исходя от этих расчётов, была разработана конструкторская документация.

Экономический расчёт показал меньшую итоговую стоимость разработанного стенда по сравнению с аналогами, а, следовательно, целесообразность его производства.

Главными особенностями данной установки является простота конструкции и удобство эксплуатации. Кроме того, данный стенд отличается мобильностью и компактностью.

## 6. Список использованной литературы

- 1) А.Г.Гудков. Механическая очистка сточных вод. / А.Г.Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2003. - 152 с.
- 2) Фрог Б.Н. Водоподготовка: Учебное пособие для вузов. / Фрог Б.Н., Левченко А.П. – Москва: Издательство МГУ, 1996. - 680 с.
- 3) Свод правил. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: нормативно-технический материал. – Москва, 2013. – 132 с.
- 4) ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие положения (с Поправкой). – Москва: 2014. – 9 с.
- 5) ГОСТ 2.106-96. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы. – Москва: 1997. – 32 с.
- 6) Учебное оборудование и наглядные пособия для учёбы: сайт. – URL: [http://labstand.ru/catalog/tehnologii\\_i\\_sredstva\\_ochistki\\_vody](http://labstand.ru/catalog/tehnologii_i_sredstva_ochistki_vody) (дата обращения 23.10.2019). – Текст: электронный.
- 7) Якубов В.В. Адсорбционные фильтровальные свойства фильтрующих загрузок водоочистных фильтров / Якубов В.В. – Текст: электронный // Текст научной статьи по специальности «Химические технологии»: Интернет-портал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsionnye-filtrovalnye-svoystva-filtruyuschih-zagruzok-vodoochistnyh-filtrov/viewer> (дата обращения: 27.02.2020).
- 8) Зарница. Лабораторное оборудование: сайт. – URL: <https://zarnitza.ru/catalog/uchlab/tehnologii-i-proizvodstvo/stroitelstvo-i-zhkh/komplekt-uchebno-laboratornogo-oborudovaniya-ochistka-stochnyx-vod/> (дата обращения 23.10.2019). – Текст: электронный.
- 9) Павел Куркин. Очистка воды. Сорбент АС – лёгкий каталитический фильтрующий материал / Павел Куркин – Текст: электронный // Публикация: Интернет-портал. – URL: <http://ochistkavodi.ru/oborudovanie-vodoochistki-2/zagruzki-i-reagenty/birm.html> (дата обращения 02.04.2020)

- 10) Лабораторные стенды. История культуры: сайт. – URL: <http://www.culturhistory.ru/novosti-kultury/laboratornye-stendy> (дата обращения 7.05.2020). – Текст: электронный.
- 11) Схема устройства контроля уровня воды в резервуаре: сайт. – URL: <http://www.votshema.ru/318-ustroystvo-kontrolya-urovnya-vody-rezervuare.html> (дата обращения 11.05.2020). – Текст: электронный.
- 12) Магазин металла в Москве. Металлопрокат: сайт – URL: <https://shopmetall.ru/truba-profilnaya> (дата обращения 13.05.2020). – Текст электронный.
- 13) САУ-М7Е регулятор уровня жидкости или сыпучих сред. Овен оборудование для автоматизации: сайт. – URL: [https://owen.ru/product/sau\\_m7e/functional](https://owen.ru/product/sau_m7e/functional) (дата обращения 11.05.2020). – Текст: электронный.
- 14) Аксессуары для полива. Яндекс маркет: сайт – URL: <https://market.yandex.ru/catalog--aksessuary-dlia-poliva/66603> (дата обращения (13.05.2020)). – Текст: электронный.
- 15) Станки для изготовления бугельных замков: сайт – URL: [http://m-w-l.ru/stanki\\_dlja\\_bugelnyh\\_zamkov/](http://m-w-l.ru/stanki_dlja_bugelnyh_zamkov/) (дата обращения 13.05.2020). – Текст: электронный.
- 16) ООО «ТСК-1»: сайт. – URL: <https://keramzit-zavod.ru/kvartcevyu-pesok> (дата обращения 13.05.2020). – Текст электронный.
- 17) Активированный уголь. Продажа активированного угля БАУ-А ГОСТ 6217-74 и хим загрузок: сайт – URL: <http://carbonactiv.ru> (дата обращения 13.05.2020). – Текст: электронный.
- 18) ПластТермо. Трубы, фитинги и другие комплектующие для трубопроводов: сайт. – URL: <https://www.plasttermo.ru> (дата обращения 29.02.2020). – Текст: электронный.
- 19) А.С. Козодаев Методические указания к лабораторному практикуму «Механическая очистка сточных вод» / А.С. Козодаев, С.Н. Капитонова – Москва: 2015. - 40 с.



## Приложение 1

### Методические указания по выполнению лабораторной работы

Методические указания к лабораторному практикуму «Механическая очистка воды» предназначены для студентов 4-го курса кафедры «Инженерная экология и охрана труда» НИУ МЭИ, изучающих дисциплину «Экологический мониторинг».

Лабораторный практикум «Механическая очистка воды» представляет собой блок из трёх лабораторных работ [19].

1) Изучение основных параметров работы отстойника. Студенты наблюдают процесс отстаивания и изучают с действительными конструкциями современных отстойников. Закрепляют навык определения и расчёта основных параметров тонкослойного отстойника.

2) Изучение процесса фильтрования воды в однослойных зернистых фильтрах. Студенты используют на практике существующие виды фильтрующих материалов и определяют наиболее эффективный из них.

3) Изучение процесса фильтрования воды в многослойных зернистых фильтрах. Студенты получают представление о важности комбинирования разных фильтрующих загрузок для более высокой эффективности очистки воды, учатся применять наиболее эффективный вариант комбинирования фильтрующих материалов в фильтрах.

Форма организации студентов на лабораторной работе групповая, т.е. в бригадах по 2-4 человека.

Цель лабораторной работы – ознакомление студентов с основными способами механической очистки воды, изучение базы осветления воды различными способами, в том числе с применением реагентов.

Задача лабораторного практикума – приобретение студентами умений, знаний и навыков по следующим вопросам:

- Особенности процессов механической очистки воды;
- Современные конструкции комплексов механической очистки воды;

- Основные параметры работы отстойников и фильтров.

По итогам выполнения лабораторной работы студенты познакомились с современными конструкциями отстойника и фильтров для очистки воды, приобрели навык определять и рассчитывать основные параметры их работы, так же использовать определённые виды загрузок для фильтров в зависимости от качества исходной сточной воды.

## **2. Практическая часть**

### **2.1 Описание лабораторной установки и применяемых приборов**

Учебный лабораторный стенд «Механическая очистка воды» предназначен для изучения:

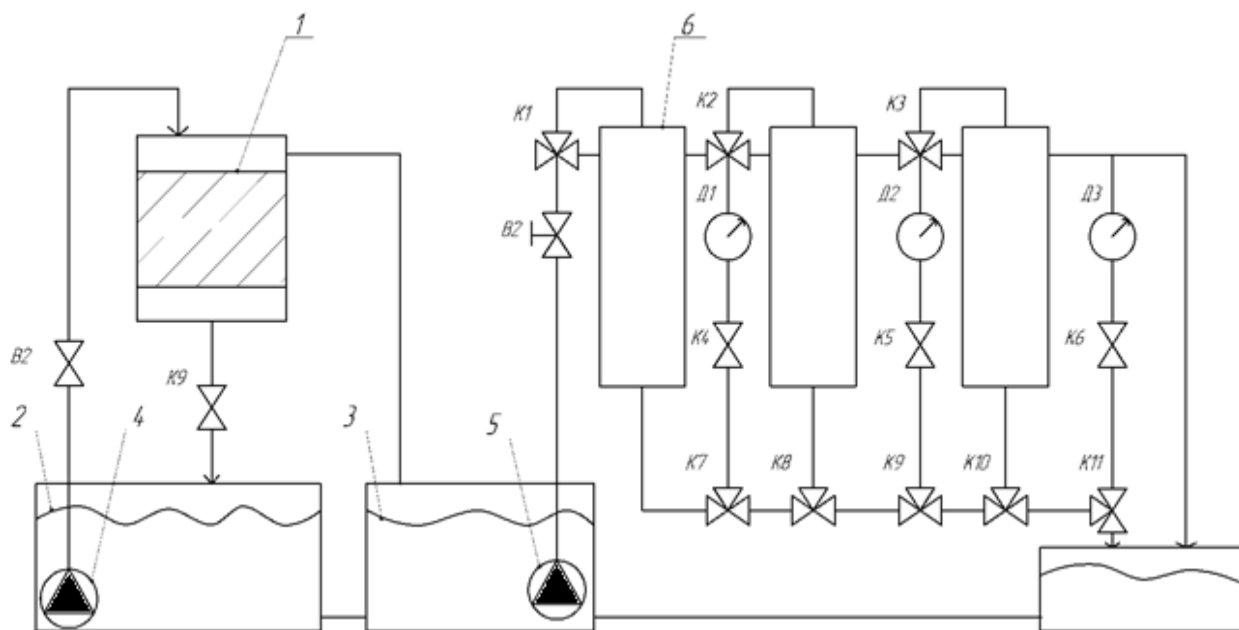
- Процессов очистки воды отстаиванием и фильтрованием;
- Устройство отстойников и фильтров и принцип их работы;
- Определение качественного состава загрязнённой воды;
- Оценка эффективности работы различных видов фильтрующих материалов;
- Возможность вариантов технологических цепочек фильтрования воды на основе исходного качества очищаемой воды.

Стенд представляет собой модель локальной очистной установки, включающей тонкослойный отстойник и скорые фильтры. В фильтровальных колоннах загружены различные типы зернистых загрузок: кварцевый песок, сорбент алюмосиликат, уголь активированный. Основной задачей лабораторного стенда является получение сведений о работе отстойника и зернистых фильтров, а также изучение фильтрующих материалов и выбор фильтрующих загрузок или их комбинации для необходимой эффективности очистки.

Технологическая схема учебной лабораторной установки представлена на рис. 1. Вода из бака с исходной водой с помощью насоса (4) подаётся в тонкослойный отстойник (1). Подача воды в отстойник регулируется вентилем

(В1). Осветлённая вода из отстойника самотёком перетекает в бак с очищенной водой, откуда насосом (5) подаётся на скорые фильтры.

В качестве скорых фильтров стенд укомплектован напорными фильтровальными колоннами (6) с нисходящим потоком. В колоннах предусмотрены верхние и нижние дренажные системы для предотвращения выноса фильтровальной загрузки.



**Рис.1** Схема учебного лабораторного стенда:

*1 – тонкослойный отстойник; 2 – бак с исходной водой; 3 – бак с очищенной водой; 4 – насос подачи исходной воды; 5 – насос подачи очищенной воды; 6 – колонна фильтрования; Д1-Д3 – манометры; К1-К11 – вентили; В1, В2 – регулировочные вентили*

Есть возможность последовательной работы фильтров. При этом одна или несколько колонн могут выводиться из работы с помощью вентиля К1-К10.

После стадии фильтрования вода выпускается в бак отфильтрованной воды.

## **2.2 Подготовка к работе лабораторного стенда**

Залейте воду в исходный бак. При необходимости приготовьте модельную воду.

В качестве модельного стока для лабораторной работы предлагается использовать водную суспензию муки или глины в концентрации 5 г/л. Приготовление суспензии можно осуществлять в отдельной ёмкости или непосредственно в баке с исходной водой.

Убедитесь в наличии и надёжном креплении заземляющего проводника на корпусе насоса.

Включите сетевую вилку в розетку с защитным проводником. Розетка должна быть рассчитана на ток 15 А.

Включите устройство защитного отключения (УЗО) (на задней панели стенда).

Убедитесь в том, что насос заполнен водой и все уплотняющие муфты крепко закручены.

В зависимости от целей работы установите предполагаемую последовательность загрузочных материалов для проведения очистки воды.

Чтобы произвести замену фильтрующей зернистой загрузки в фильтрах необходимо сделать следующее:

- 1) Ослабить поддерживающее крепление на фильтрах;
- 2) Вытащить удерживающие шпильки на удерживающей балке, придерживая саму балку, чтобы не упала;
- 3) Снять балку или поднять её наверх, где предусмотрены отверстия для шпилек;
- 4) Выбрать фильтр, в котором нужно заменить загрузку;
- 5) Открутить в нижней части фильтра соединительную трубу;
- 6) Открутить в верхней части фильтра соединительную трубу. Осторожно, придерживайте рукой цилиндр, так как его больше ничего не уравнивает, он может упасть на вас.
- 7) Опустить фильтр и открыть крышку.
- 8) Заполнить колонну загрузкой. *Примечание.* Поскольку колонна выполнена из хрупкого материала, то перед заполнением колонны

загрузкой установите внутрь колонны лист ватмана для того, чтобы предотвратить повреждение колонны в виде царапин на внутренней поверхности от засыпаемой загрузки. После заполнения колонны лист вытаскивается.

- 9) В качестве поддерживающего материала засыпать кальцит. Высота слоя должна быть не менее высоты дренажной системы. (т.е. должна закрывать её)
- 10) Засыпать загрузку (высота слоя – не менее 300 мм).

В качестве загрузок предусмотрены песок разной гидравлической крупности, сорбент алюмосиликат, можно применять активированный уголь.

Устройство стенда позволяет использовать загрузки по вашему выбору. Кроме того, в колонне (б) (см.рис.1) возможна компоновка загрузок в многослойный фильтр для достижения наилучшего эффекта очистки.

Установка происходит в обратном порядке.

По окончании работы выключите насосы, УЗО (на задней панели стенда).

Слейте воду из баков.

### **2.3 Правила безопасности**

К работе на установке «Механическая очистка воды» допускаются лица, ознакомленные с её устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведёнными в настоящем разделе.

Шнур питания установки должен быть подключен к сетевой розетке с защитным проводником.

Наладочные работы, осмотры и ремонт проводить только после отключения стенда от сети питания с помощью сетевой вилки.

Выполнение лабораторной работы проводится бригадой не менее чем из двух человек, один из которых является наблюдателем и при возникновении опасности обесточивает лабораторную установку.

Не допускать попадания жидкости на пульт управления и блок управления.

Каждый студент до выполнения лабораторных работ должен ознакомиться с правилами по технике безопасности и противопожарной безопасности.

1. До начала работы студент должен подробно ознакомиться с устройством стенда, схемой подсоединения электрических приборов, расположением и работой вентилях, выключателей электропитания.

2. Подача электрического тока в сеть для работы с приборами осуществляется только лаборантом.

3. В лаборатории категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

А) трогать, включать и отключать без разрешения руководителя и лаборанта рубильники, приборы, аппараты;

Б) касаться зажимов приборов и аппаратов, проводить переключение и замену приборов в схеме при действительном напряжении;

В) шуметь, работать в верхней одежде, шарфах, шляпах и раздеваться в лаборатории;

Г) загромождать рабочее место предметами, не относящимися к выполняемой работе;

Д) переходить без разрешения руководителя с одного рабочего места на другое.

4. По окончании работы электрическую схему отключить. Провести уборку на рабочем месте.

5. Работающие в лаборатории обязаны беречь государственное имущество, бережно относиться к приборам, лабораторному и аудиторному имуществу.

При возникновении пожара принимать все необходимые меры для тушения пожара, спасения людей и имущества и немедленно сообщить о пожаре.

### 3. Порядок выполнения лабораторной работы

#### 3.1. Лабораторная работа №1

##### «Изучение основных параметров работы отстойника»

Основные задачи:

- Ознакомление с конструкцией тонкослойного отстойника, с основами осветления воды в тонкослойных отстойниках;
- Проведение измерений основных технологических параметров работы тонкослойного отстойника;
- Определение эффективности работы отстойника.

Порядок выполнения.

1. С помощью линейки измерьте высоту  $H$  отстойника.
2. Используя секундомер, определите время заполнения отстойника.
3. Определите концентрацию загрязняющих веществ  $C_{вх}$  в исходной воде на входе в отстойник (мутность воды). Для этого отберите из бака с исходной водой необходимый объём жидкости.
4. Объёмным способом с помощью мерного бака определите исходный объём  $W$  воды в отстойнике.
5. Измерьте фактическое время  $t$  пребывания воды в отстойнике.  
Для проведения эксперимента и необходимых замеров в нижнюю часть введите раствор красителя, при этом осуществляйте отсчёт времени по секундомеру. При вводе красителя следите за движением основной массы подкрашенной жидкости до концевого водослива.
6. Определите концентрацию загрязняющих веществ  $C_{вых}$  на выходе из отстойника. Для этого отберите пробу из бака с очищенной водой.
7. После выполнения всех измерений данные внести в таблицу отчёта для дальнейшего расчёта параметров работы отстойника и выполнения работы №2.
8. Рассчитайте основные параметры работы отстойника:

Расход воды,  $м^3/с$ ,

$$Q = \frac{W}{t}; (1)$$

Скорость движения воды в отстойнике,  $м/с$ ,

$$v = \frac{Q}{S_{отс}}, (2)$$

Где  $S_{отс}$  – площадь поперечного сечения отстойника, заполненного водой;  
Расчётное время пребывания воды в отстойнике,  $с$ ,

$$t_p = \frac{H}{v}; (3)$$

Эффективность работы отстойника, %,

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}} \cdot 100. (4)$$

9. Сформулируйте вывод о выполненной работе и эффективности очистки воды в тонкослойном отстойнике.

### 3.2 Лабораторная работа №2

#### «Изучение процесса фильтрования воды в однослойных зернистых фильтрах»

Основные задачи:

- Ознакомление с конструкцией однослойных зернистых фильтров, с основными видами фильтрующих материалов (загрузок), с основами процесса фильтрования через различные фильтрующие материалы;
- Исследования основных показателей эффективности работы однослойных зернистых фильтров с разными загрузками;
- Выявление наиболее эффективной загрузки однослойного зернистого фильтра.

Порядок выполнения.

1. Проведите предварительное осветление воды в тонкослойном отстойнике (см. лабораторную работу № 1) и оставьте этот объём в баке с очищенной водой. Осуществите отбор пробы воды на анализ для определения концентрации  $C_{\text{ВХ}}$ , мг/л, загрязняющих веществ (мутности воды) на входе в фильтр. Данные внести в табл. 1 отчёта.

2. После накопления требуемого объёма воды включите насос (5) (см. рис.1) и проведите фильтрование через одну колонну всего объёма воды. При этом осуществляйте отбор проб воды на анализ каждые 2 минуты. Полученные данные внести в таб.1 отчёта для определения оптимального времени фильтрования через данный тип загрузки при её наивысшей эффективности. Определите эффективность фильтрования по формуле (4). Поворотом вентиля В2 на подающей линии регулируйте скорость фильтрования, чтобы она не превышала значений, указанных в табл. 1.



3. Рассчитайте фактическую скорость фильтрования потока  $v_{\text{п}}$ , м/ч,

$$v_{\text{п}} = \frac{Q}{S_{\text{ф}}}, (5)$$

Здесь  $Q$  – фактический расход воды, м<sup>3</sup>/ч, рассчитанный по формуле (1);  $S_{\text{ф}}$  – площадь поперечного сечения фильтра, м<sup>2</sup>,

$$S_{\text{ф}} = \frac{\pi D_{\text{ф}}^2}{4}, (6)$$

Где  $D_{\text{ф}}$  – диаметр фильтра, м.

Сравните полученное значение  $v_{\text{п}}$  с допустимыми значениями, указанными в табл. 1.

4. После проведения работ с первым фильтром повторите процедуру отстаивания и фильтрования, но уже через другую загрузку. Все данные внести в табл. 2-4 отчёта и в итоговую табл. 5 отчёта для дальнейших исследований лабораторной работы № 3.

5. Сформулируйте вывод о выполненной работе и оптимальном времени фильтрования для различных фильтрующих загрузок при их наивысшей эффективности очистки воды.

### 3.3 Лабораторная работа № 3

#### «Изучение процесса фильтрования воды в многослойных зернистых фильтрах»

Основные задачи:

- Ознакомление с конструкцией многослойных зернистых фильтров, с основами процесса фильтрования через различные фильтрующие загрузки многослойных фильтров;
- Исследование основных показателей эффективности работы многослойных зернистых фильтров с различными загрузками;
- Выявление наиболее оптимальной компоновки многослойной загрузки фильтра с наивысшей эффективностью очистки воды.

Порядок выполнения.

1. По данным, полученным в лабораторной работе № 2, определите две загрузки с наибольшей эффективностью очистки воды.

2. Проведите предварительное осветление воды в тонкослойном отстойнике (см. ЛР №1) и оставьте этот объём в баке с очищенной водой. Осуществите отбор пробы воды на анализ для определения концентрации загрязняющих веществ (мутности воды) на входе в фильтр. Данные занесите в таблицу отчёта.

3. После накопления требуемого объёма воды с помощью вентиля переключите потоки для комбинирования загрузок посредством последовательного включения двух выбранных ранее самых эффективных фильтровальных колонн.

4. Включите насос Н2 (см. рис. 1) и проведите последовательную фильтрацию всего объёма воды через колонны, имитируя многослойную загрузку. При этом осуществляйте отбор проб воды на анализ каждые 2 минуты и вносите полученные результаты в таблицу отчёта. Поворотом вентиля В2 на подающей линии регулируйте скорость фильтрования.

5. Сформулируйте вывод о выполненной работе, об оптимальном времени фильтрования для многослойных фильтрующих загрузок при наивысшей их эффективности очистки воды. Полученные результаты лабораторной работы №2 сравните с результатами текущей работы и сформулируйте вывод о наиболее оптимальном способе фильтрования сточной воды через однослойные и многослойные зернистые фильтры.

#### 4. Формы отчёта о результатах лабораторных работ

##### 4.1. Отчёт о лабораторной работе № 1

###### «Изучение основных параметров работы отстойника»

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Результаты измерений основных технологических параметров работы отстойника

Исходный объём воды $W$ , $m^3$	Время заполнения отстойника $t$ , с	Высота отстойника $H$ , м	Площадь живого сечения отстойника $S_{отс}$ , $m^2$	Концентрация загрязняющих веществ в исходной воде $C_{вх}$ , мг/л	Концентрация загрязняющих веществ на выходе из отстойника $C_{вых}$ , мг/л

Результаты расчётов основных параметров отстойника

1. Расход воды,  $m^3/c$ ,

$$Q = \frac{W}{t};$$

2. Скорость движения воды в отстойнике, м/с,

$$v = \frac{Q}{S_{отс}}, (2)$$

3. Расчётное время пребывания воды в отстойнике, с,

$$t_p = \frac{H}{v};$$

4. Эффективность работы отстойника, %,

$$\varepsilon = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100.$$

Вывод: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**4.2 Отчёт о лабораторной работе № 2**  
**«Изучение процесса фильтрования воды в однослойных**  
**зернистых фильтрах»**

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Таблица 1

**Результаты исследования однослойного зернистого фильтра с**  
**загрузкой из кварцевого песка при исходной концентрации загрязняющих**  
**веществ  $C_{вх} = \underline{\hspace{1cm}}$  мг/л**

Время фильтрования $t, c$	120	240	360	480	600	720	840	960	1080
Концентрация загрязняющих веществ на выходе из фильтра $C_{вых}, мг/л$									

Таблица 2

**Результаты исследования однослойного зернистого фильтра с загрузкой из сорбента алюмосиликата при исходной концентрации загрязняющих веществ  $C_{вх} = \text{---}$  мг/л**

Время фильтрования $t, c$	120	240	360	480	600	720	840	960	1080
Концентрация загрязняющих веществ на выходе из фильтра $C_{вых}, \text{мг/л}$									

Таблица 3

**Результаты исследования однослойного зернистого фильтра с загрузкой из активированного угля при исходной концентрации загрязняющих веществ  $C_{вх} = \text{---}$  мг/л**

Время фильтрования $t, c$	120	240	360	480	600	720	840	960	1080
Концентрация загрязняющих веществ на выходе из фильтра $C_{вых}, \text{мг/л}$									

Таблица 4

**Определение наиболее эффективного однослойного фильтра с различными фильтрующими загрузкими**

Фильтрующая загрузка	Концентрация загрязняющих веществ в воде на входе в фильтр $C_{вх}$ , мг/л	Концентрация загрязняющих веществ в воде на выходе из фильтра $C_{вых}$ , мг/л	Эффектив- ность работы фильтра $\mathcal{E}$ , %	Оптималь- ное время фильтрава- ния воды $t_{очн}$ , с
Кварцевый песок				
Сорбент АС				
Активированный уголь				

Эффективность работы отстойника

$$\mathcal{E} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100\%.$$

Оптимальное время фильтрования определяется на основе анализа изменения концентрации загрязнений на выходе из фильтра. Как только кривая, описывающая изменение концентрации, начинает выравниваться, процесс фильтрования можно завершать.

Вывод: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---

### 4.3 Отчёт о лабораторной работе № 3

#### «Изучение процесса фильтрования воды в многослойных зернистых фильтрах»

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

#### Результаты исследования многослойного зернистого фильтра

Концентрация загрязняющих веществ в воде на входе в многослойный фильтр $C_{вх}$ , мг/л									
Эффективность работы однослойного фильтра с загрузкой из _____, % (по результатам ЛР № 2)									
Эффективность работы однослойного фильтра с загрузкой из _____, % (по результатам ЛР № 3)									
Время фильтрования $t$ , с	120	240	360	480	600	720	840	960	1080
Концентрация загрязняющих веществ на выходе из фильтра $C_{вых}$ , мг/л									
Эффективность работы многослойного фильтра $\mathcal{E}$ , %									

Вывод: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

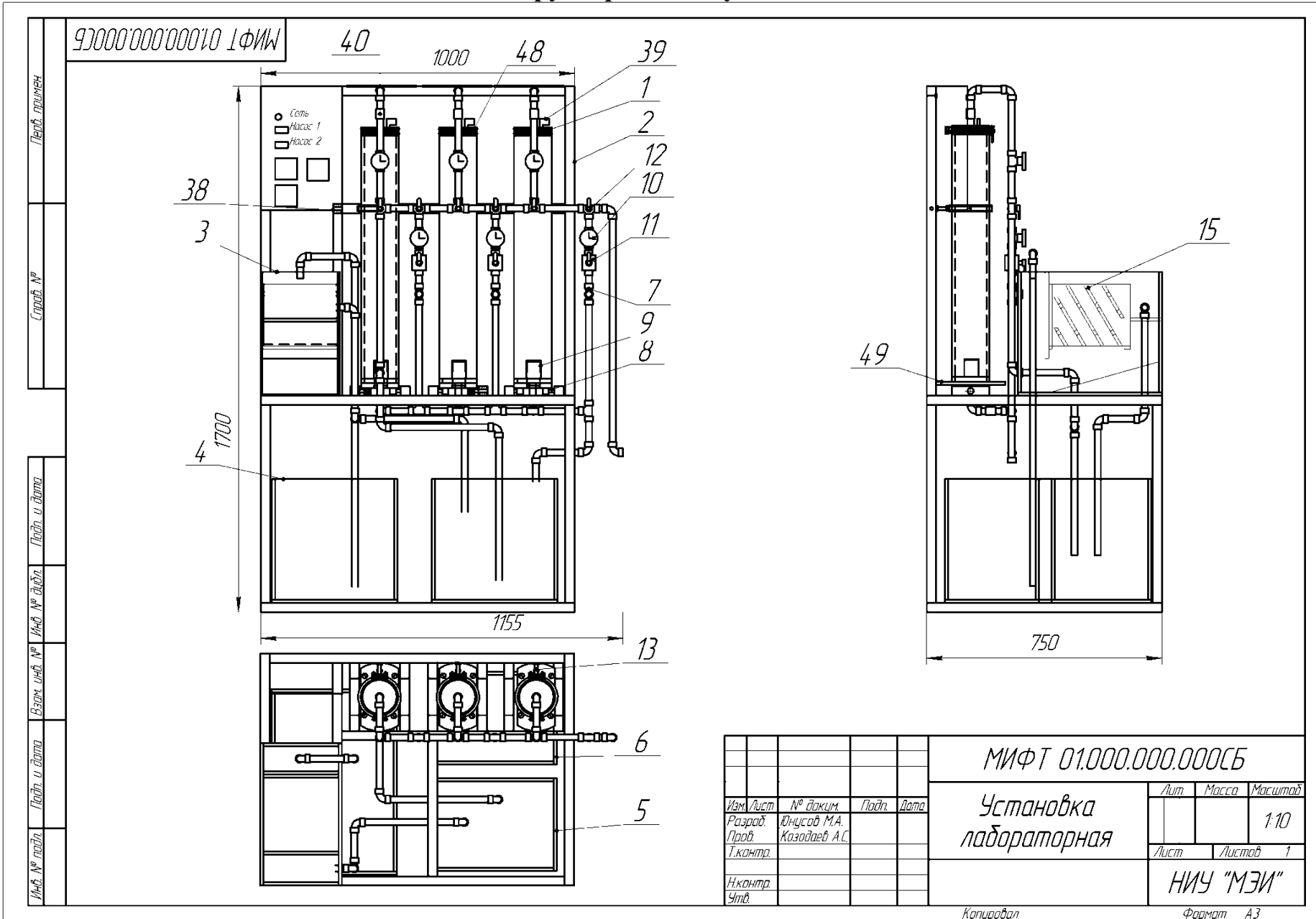
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# Приложение 2

## Конструкторская документация





МИФТ 01.001.000.000СБ

Перв. примен.

Справ. №

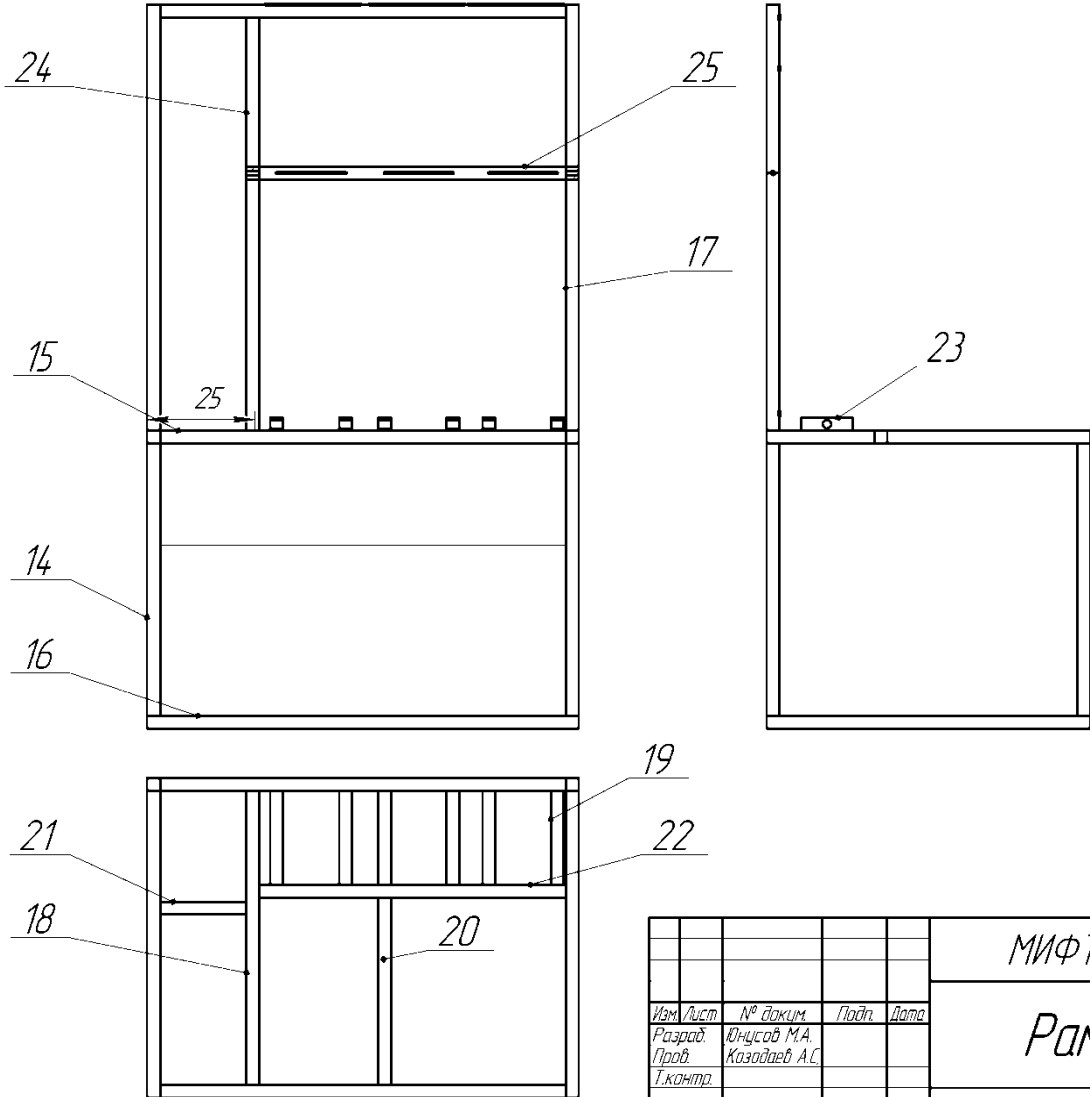
Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



МИФТ 01.001.000.000СБ				Лит	Масса	Масштаб
Рама						1:10
Сталь 35 ГОСТ 1050-88				Лист	Листов	1
НИУ "МЭИ"						

Копировал

Формат А3

МИФТ 01.005.001.000СБ

Перв. примен.

Справ. №

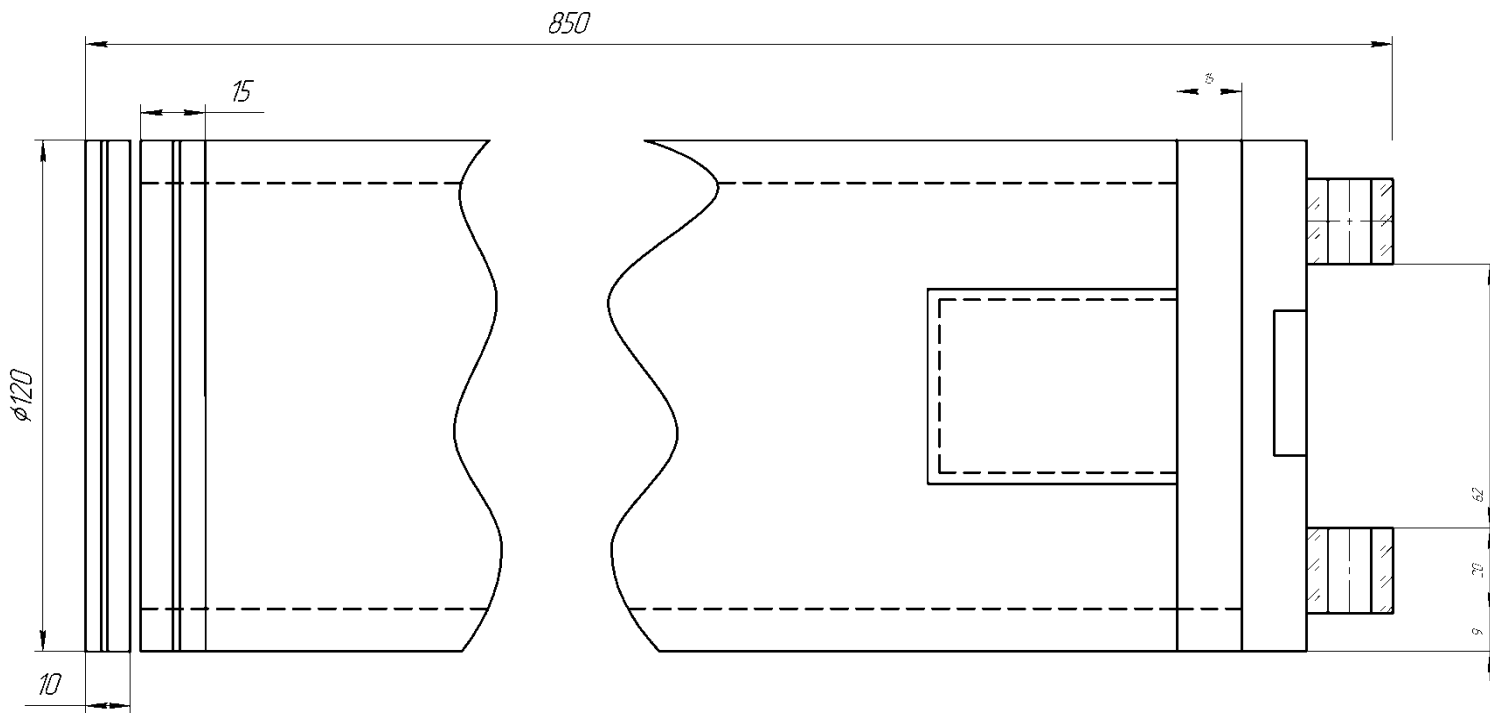
Подп. и дата

И-В. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

И-В. № подл.



Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнусов М.А.			
Проб.	Козадаев А.С.			
Т.контр.				
И.контр.				
Чтв.				

МИФТ 01.005.001.000СБ

Цилиндр

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

НИУ "МЭИ"

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.001.000СБ

Перв. примен.

Справ. №

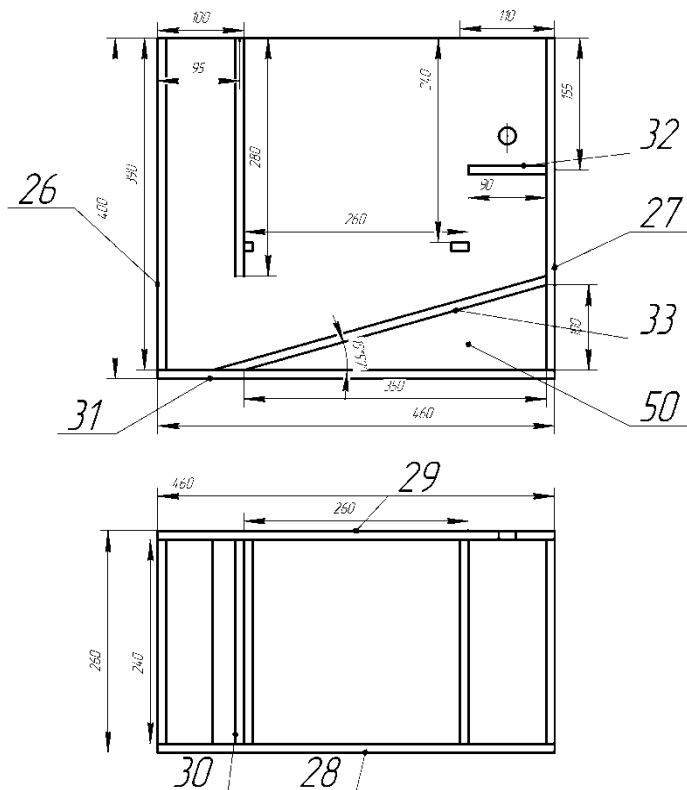
Подп. и дата

И-Ф. № д-да

Взам. инв. №

Подп. и дата

И-Ф. № подл.



МИФТ 01.004.001.000СБ			
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.
Разраб.	Юнусов М.А.		
Проб.	Козадаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Чтв.			
Отстойник			Лит.
Полиметилметакрилат			Масса
ГОСТ 10667-90			Масштаб
			1:5
		Лист	Листов
		1	1
НИУ "МЭИ"			Формат А3
Копировал			

МИФТ 01.004.002.000СБ

Перв. примен.

Справ. №

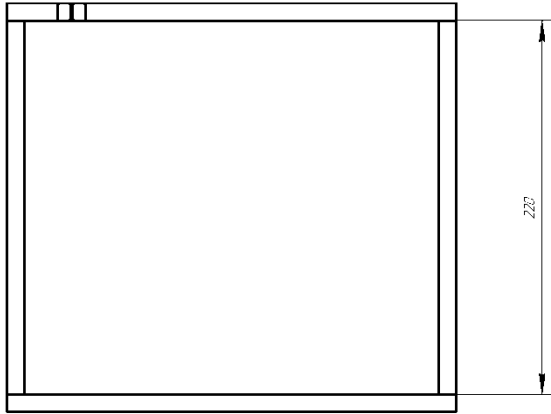
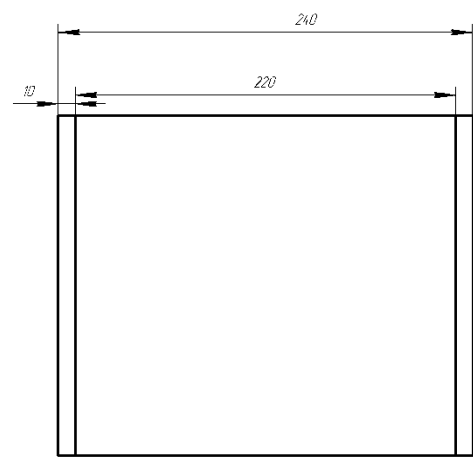
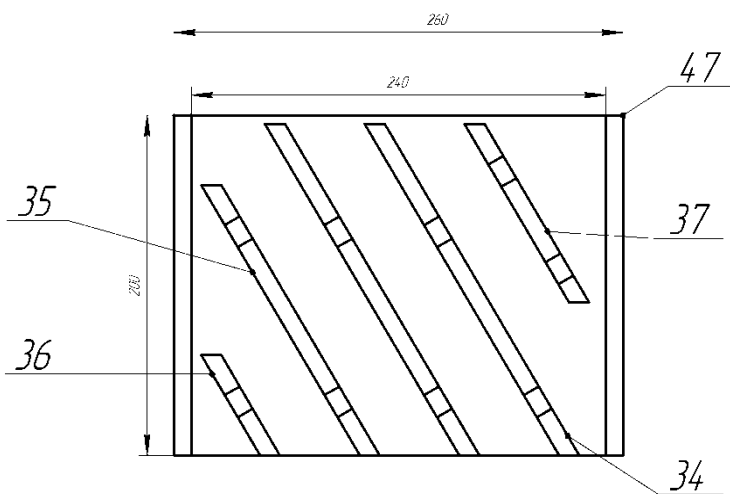
Подл. и дата

Инд. № дораб.

Взам. инд. №

Подл. и дата

Инд. № подл.



				МИФТ 01.004.002.000СБ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Элемент отстойника	Лист	Масса	Масштаб
Разработ.	Юнусов М.А.	Каздалев А.С.						1:2,5
Т.контр.						Лист	Листов	1
Исполн.					Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	НИУ "МЭИ"		
Чтв.					Копирован	Формат А3		

МИФТ 01.002.000.000СБ

Перв. примен.

Спроект. №

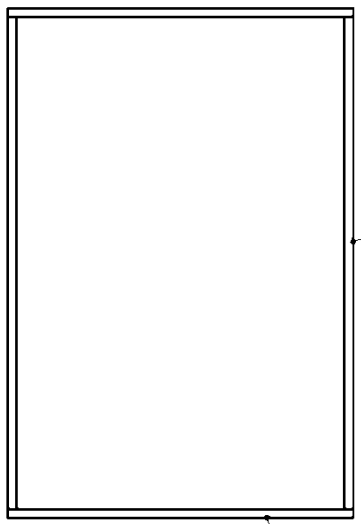
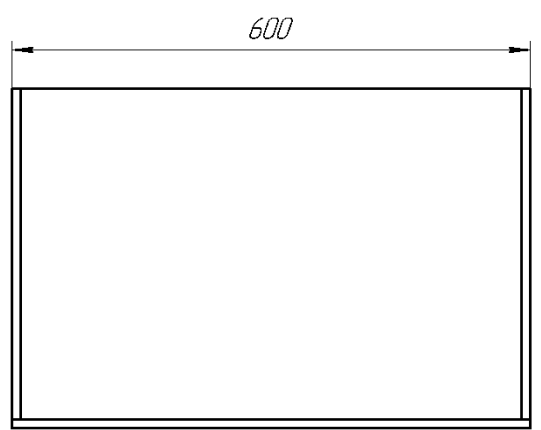
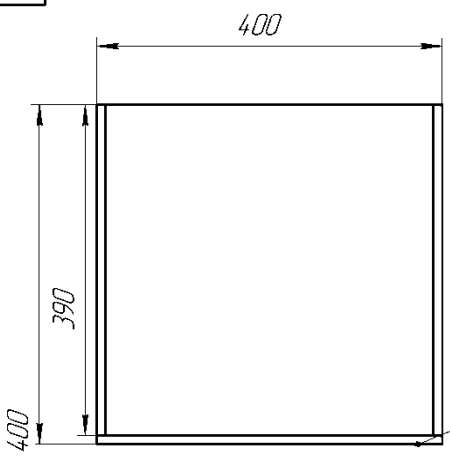
Подл. и дата

Изм. №

Изм. №

Подл. и дата

Изм. №



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.	Проект.	Т.контр.	И.контр.	Читб.

МИФТ 01.002.000.000СБ			
Бак 1	Лит.	Масса	Масштаб
			15
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов	1
	НИУ "МЭИ"		

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.003.000.000СБ

Перв. примен.

Спроб. №

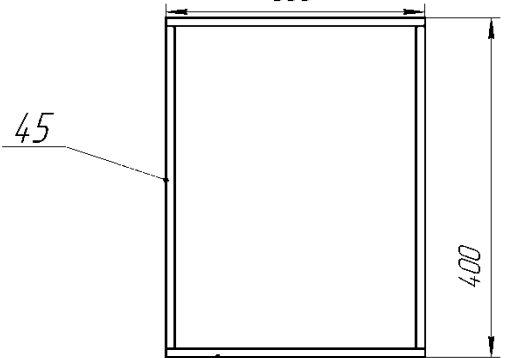
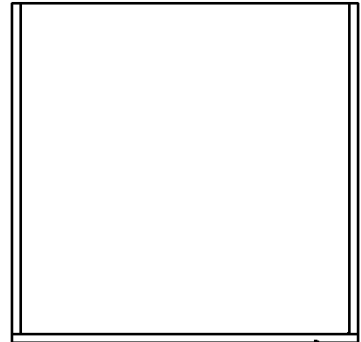
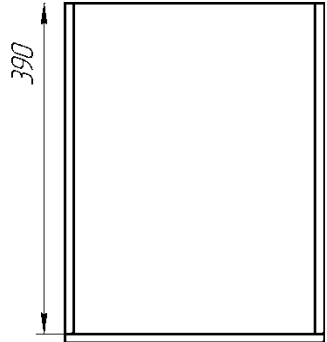
Подл. и дата

Изм. №

Изм. №

Подл. и дата

Изм. №



44

45

46

				МИФТ 01.003.000.000СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Внуцов М.А.					15
Проб.		Козаев А.С.					
Т.контр.					Лист	Листов	1
И.контр.					Полиметилметакрилат		
Чтб.					ГОСТ 10667-90		
				Копировал		Формат А3	

МИФТ 01.003.000.000СБ

Бак 2

Полиметилметакрилат  
ГОСТ 10667-90

Лит. Масса Масштаб  
Лист Листов 1  
НИУ "МЭИ"

Копировал

Формат А3

МИФТ 01.005.001.002

Перв. примен.

Стр. №

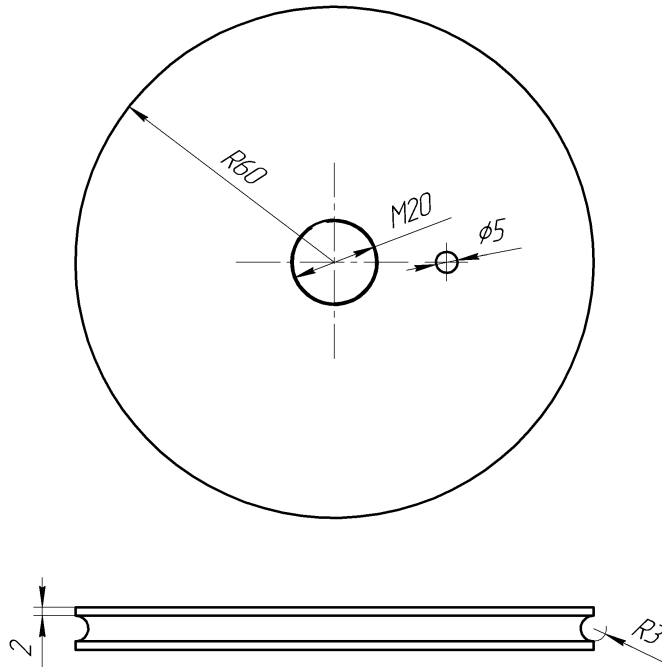
Лист и дата

Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Лист и дата

Инд. № подл.



				МИФТ 01.005.001.002				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Крышка верхняя	Лит.	Масса	Масштаб
		Юнусов М.А.						1:1
		Козадаев А.С.				Лист	Листов	1
					Полиметимметакрилат	НИУ "МЭИ"		
					ГОСТ 10667-90			

Копировал

Формат А3

МИФТ 01.005.001.003

Перв. примен.

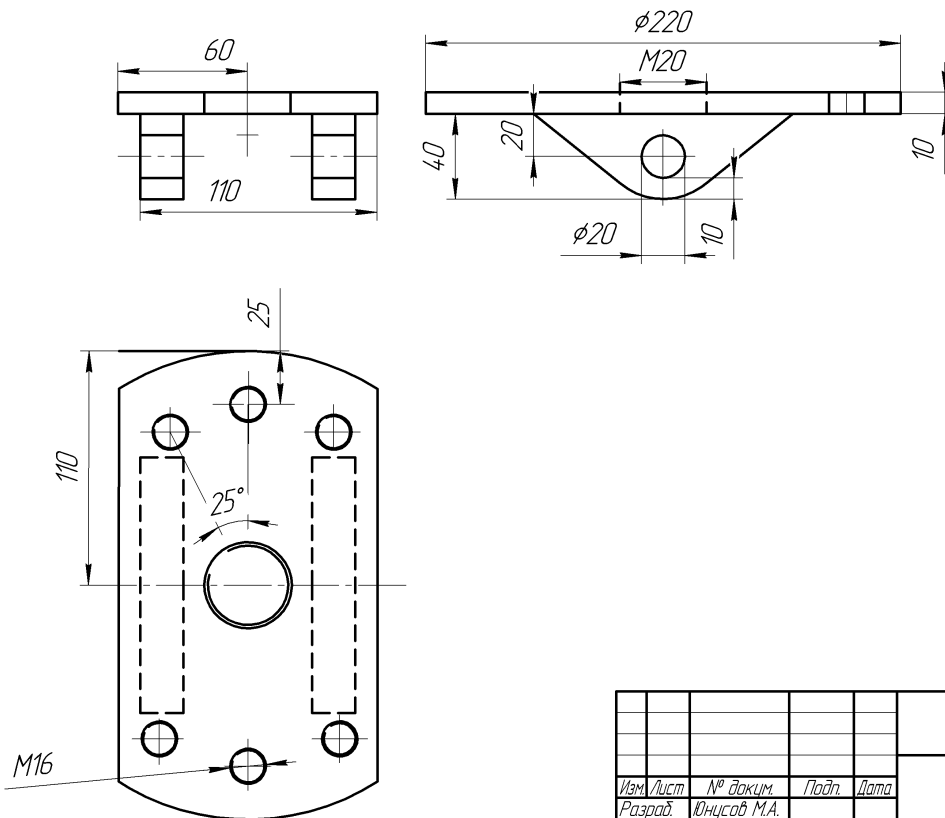
Стр. №

Лист и дата

Взам. инв. № / Инв. № дубл.

Лист и дата

Инв. № подл.

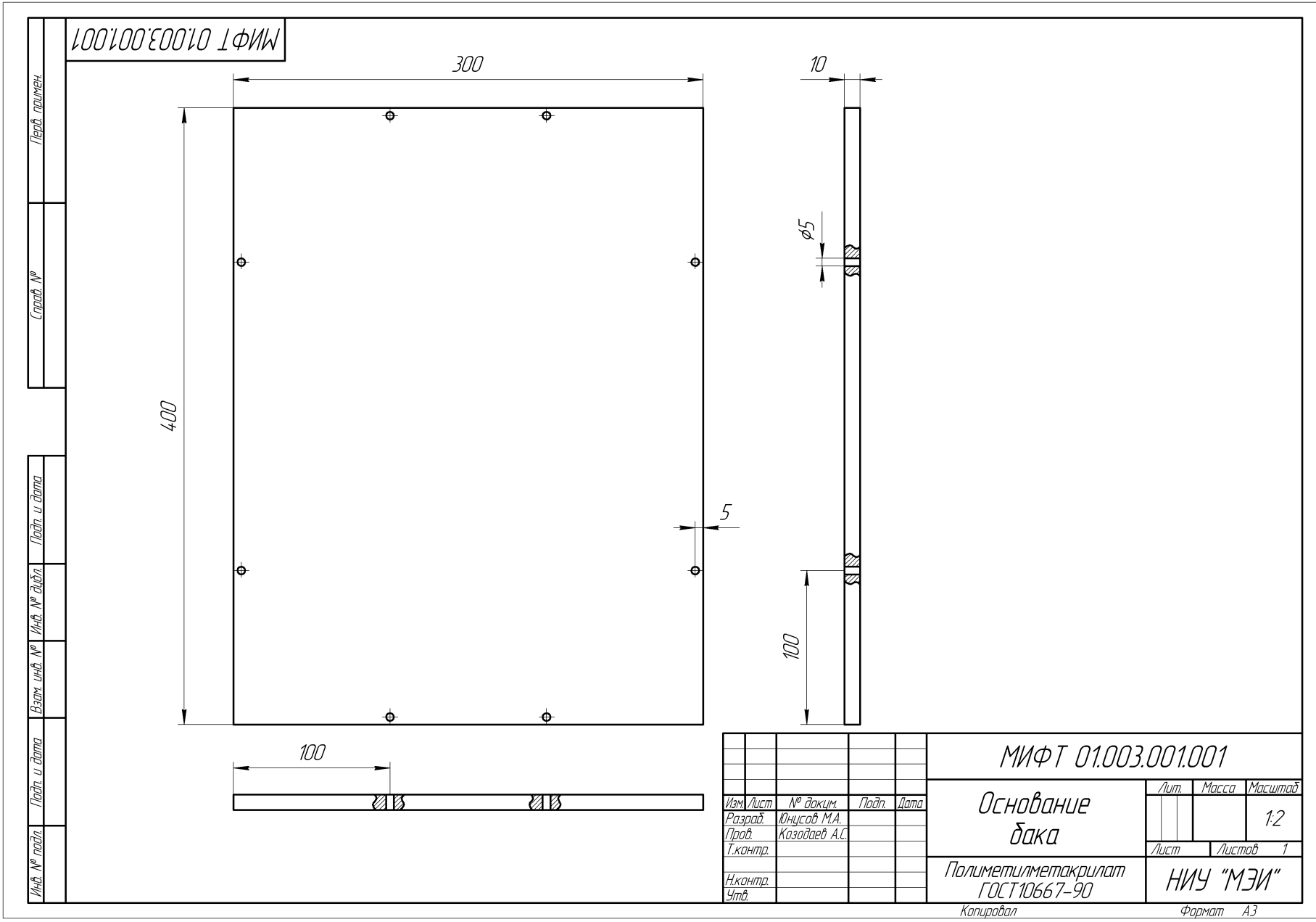


МИФТ 01.005.001.003			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.
Разраб.	Юнусов М.А.		Дата
Проб.	Козадаев А.С.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Чтв.			
Крышка нижняя			Лит.
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90			Масса
			Масштаб
			1:2
		Лист	Листов
		1	1
			НИУ "МЭИ"

Копировал

Формат А3





Перв. примен.  
 Справ. №  
 Подп. и дата  
 Изм. № подл.  
 Изм. № дробл.  
 Изм. № и ин. №  
 Подп. и дата  
 Изм. № подл.

МИФТ 01.003.001.001

300

400

10

φ5

5

100

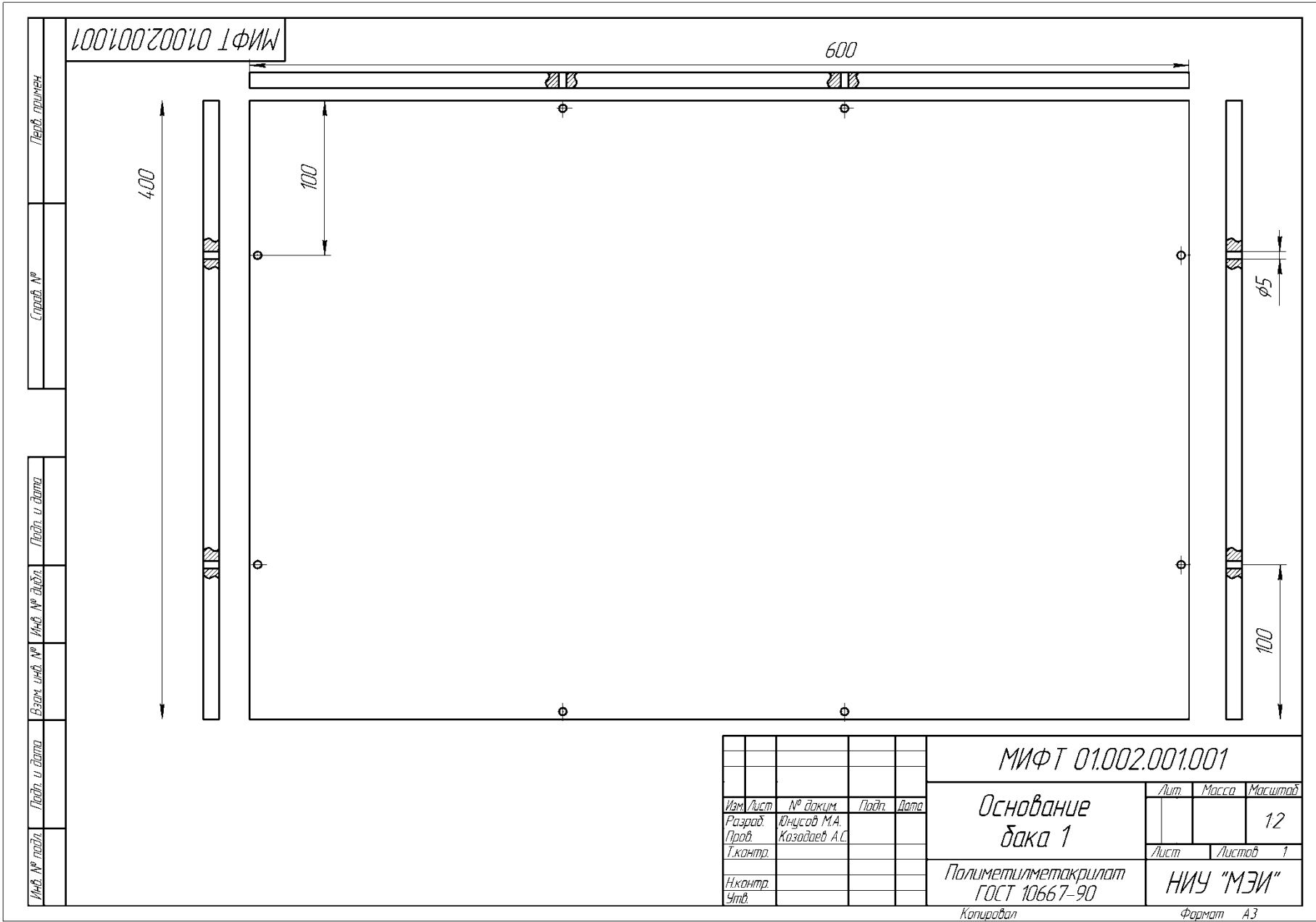
100

Изм.	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнусов М.А.			
Проб.	Козадаев А.С.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Чтб.				

МИФТ 01.003.001.001			
Основа бака	Лит.	Масса	Масштаб
			1:2
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов	1
	НИУ "МЭИ"		

Копировал

Формат А3



Инд. № листа / Подп. и дата / Взам. инв. № / Инв. № докум. / Подп. и дата / Справ. № / Перв. примен.

МИФТ 01.002.001.001

400

100

600

100

φ5

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнусов М.А.		
Проб.	Козыбаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.002.001.001			
Основание бака 1	Лист	Масса	Масштаб
			12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов	1
	НИУ "МЭИ"		
Копировал			
Формат А3			

МИФТ 01.004.001.007

Лист примен

Спроект №

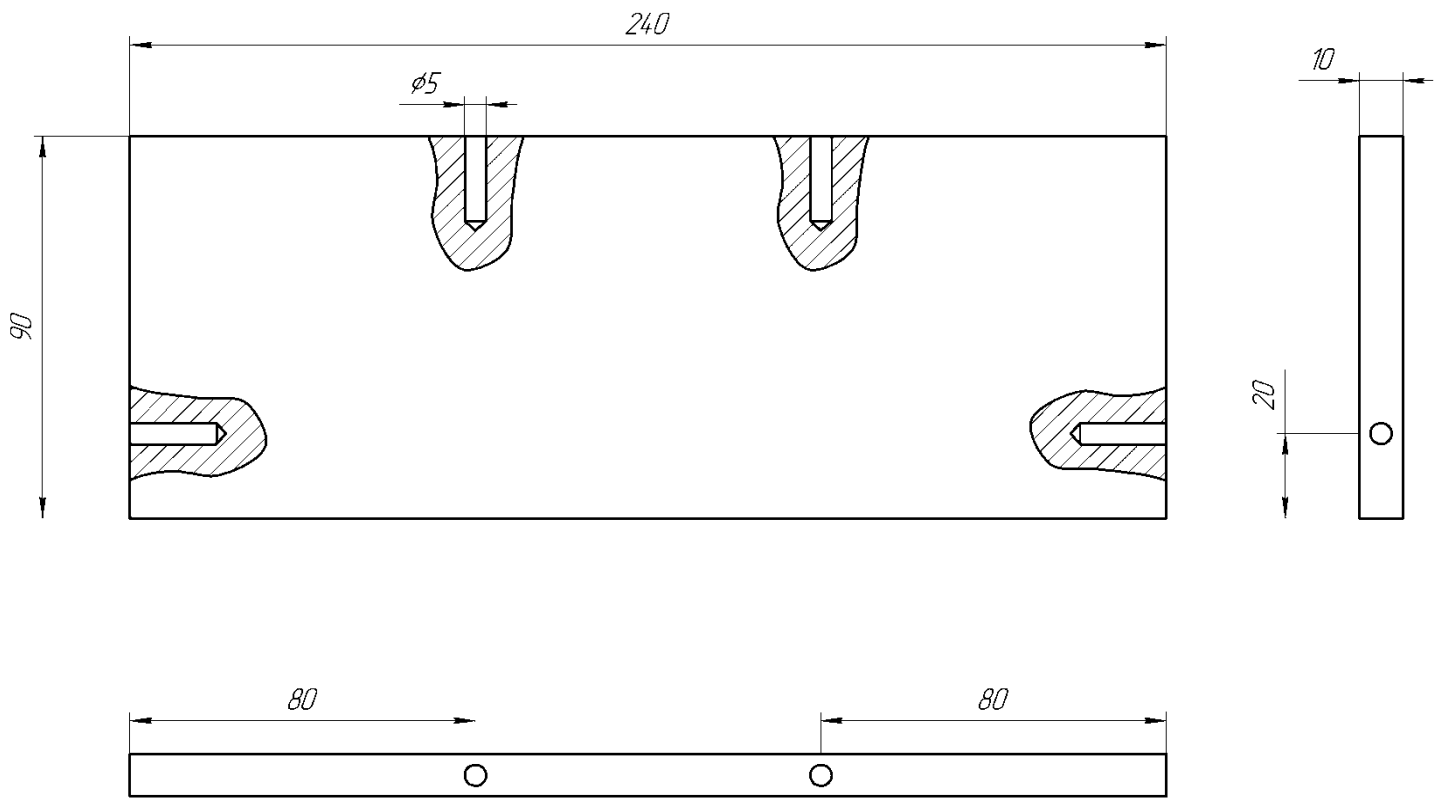
Подл. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подл. и дата

Изм. №



Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
Разработ.	Юнцусов М.А.			
Проект.	Козадаев А.С.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Чтв.				

МИФТ 01.004.001.007		
Основание дополнительное	Лист	Масса
		1:1
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов 1
	НИУ "МЭИ"	

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.001.007

Лист примен

Справ. №

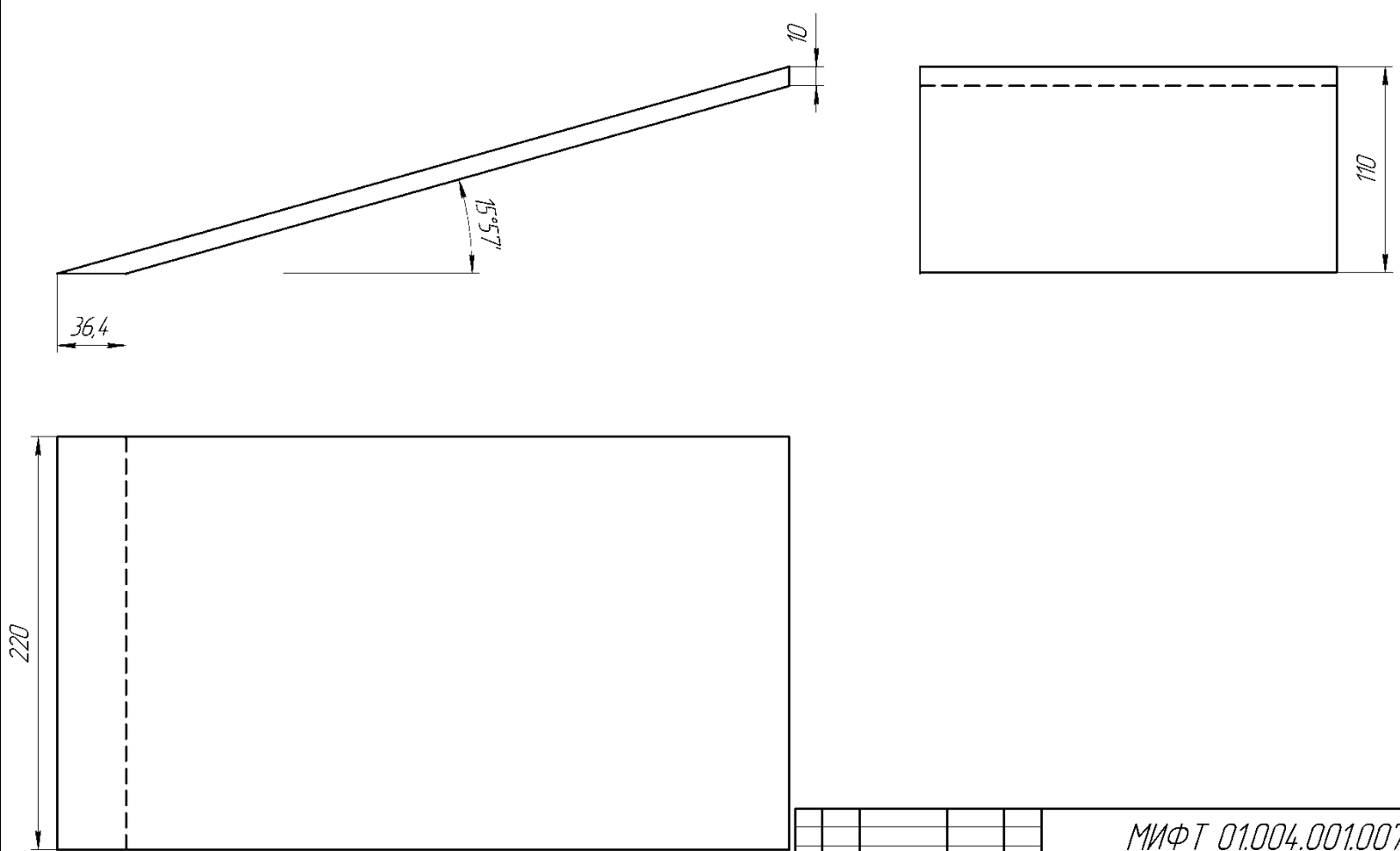
Лист и дата

Инд. № докум.

Взам инд. №

Лист и дата

Инд. № разраб.



Изм./лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцисов М.А.		
Проб.	Козыбаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.004.001.007		
Основание наклонное	Лист	Масштаб
		12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1
НИУ "МЭИ"		Формат А3

Копировал

Формат А3

МИФТ 01.004.001.006

Перв. примен.

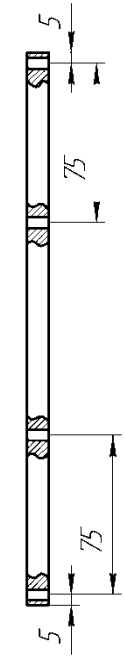
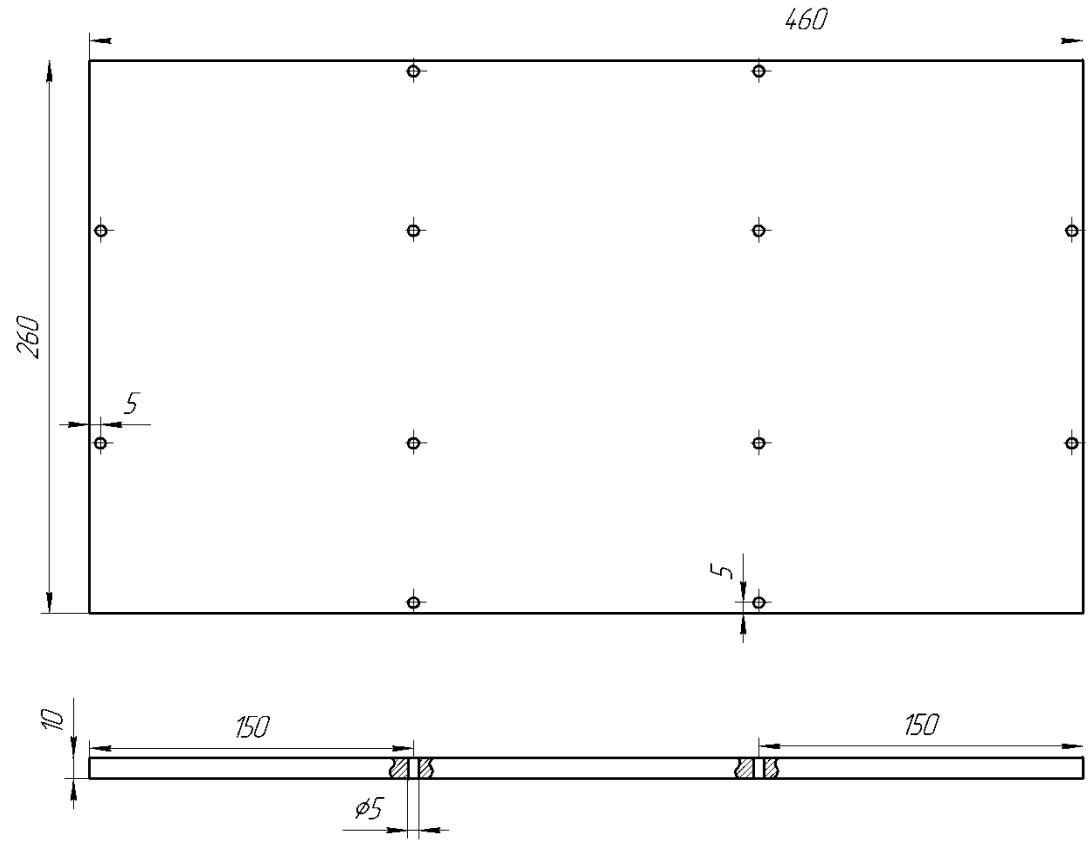
Справ. №

Подл. и дата

Изм. №

Подл. и дата

Изм. №



Изм.	Лист	№ док-м.	Подл.	Дата
Разраб.	Юнусов М.А.			
Проб.	Казаев А.С.			
Т.контр.				
И.контр.				
Чтб.				

МИФТ 01.004.001.006			
Основание отстойника	Лит.	Масса	Масштаб
			1:2
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов	1
	НИУ "МЭИ"		

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.001.005

Перед. примен.

Справ. №

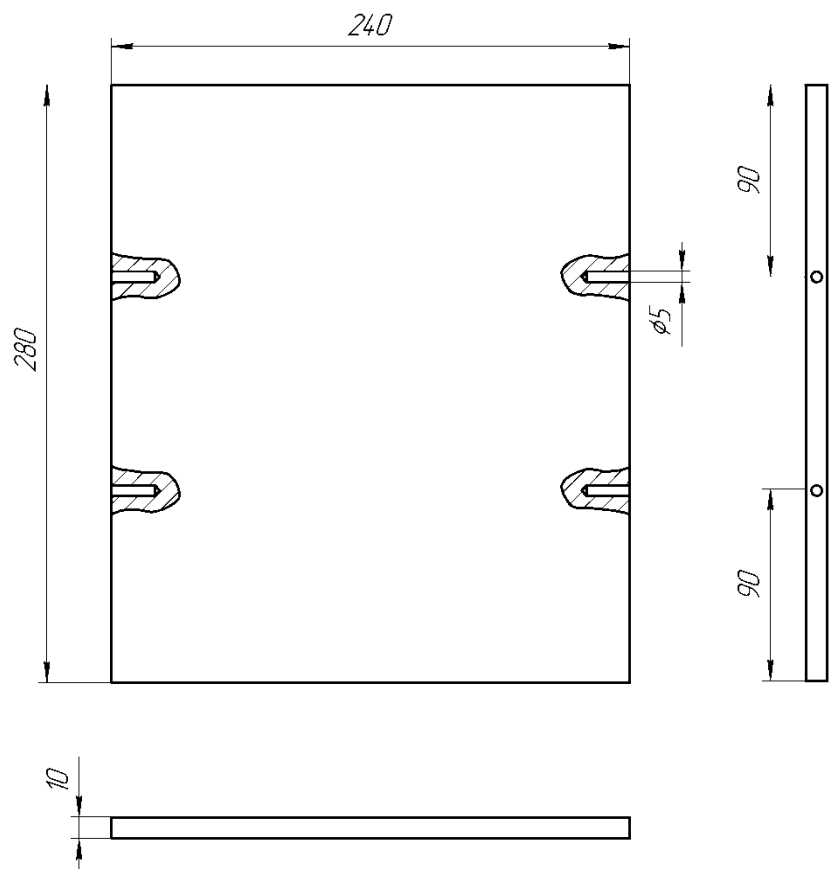
Полн. и дата

Инд. № докум.

Взам. инд. №

Полн. и дата

Инд. № разраб.

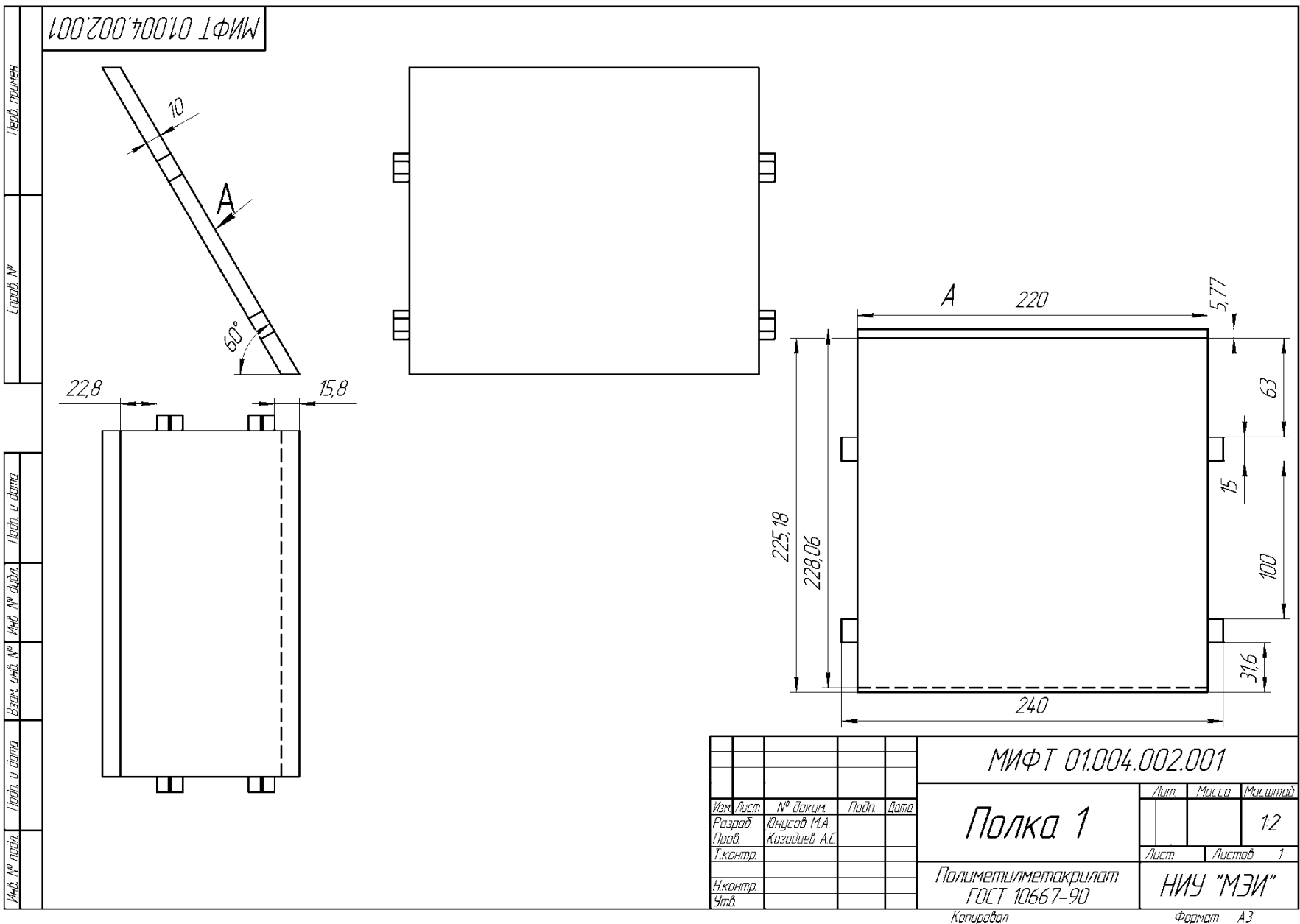


Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцусов М.А.		
Проб.	Козыбаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.004.001.005		
Перезгородка	Лист	Масштаб
		12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1
	НИУ "МЭИ"	

Копировал

Формат А3



МИФТ 01.004.002.002

Перв. примен.

Справ. №

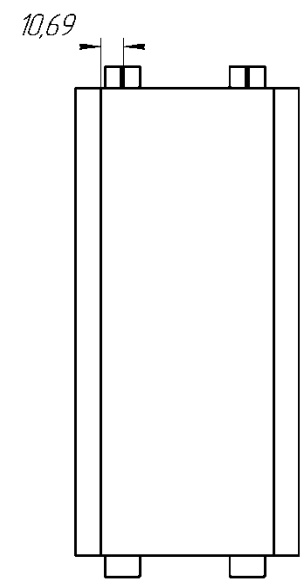
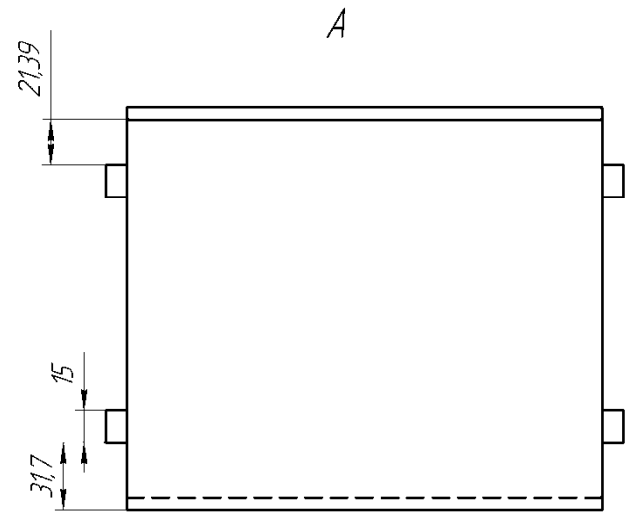
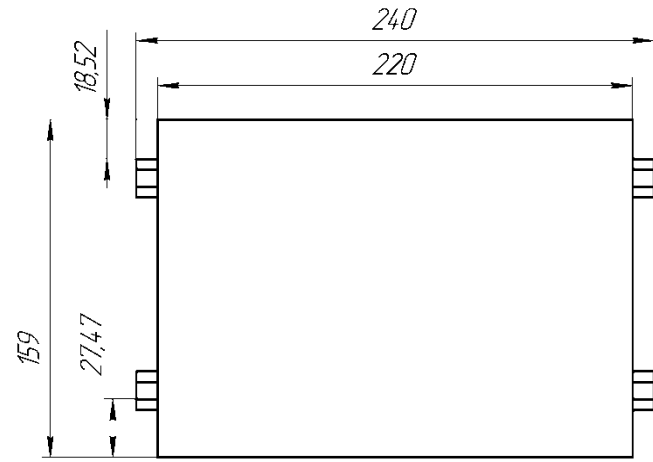
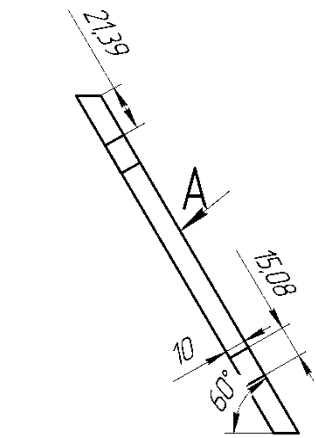
Подл. и дата

Инд. № дораб.

Взам. инд. №

Подл. и дата

Инд. № подл.



Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
Разработ.	Юнусов М.А.			
Проб.	Казаев А.С.			
Т.контр.				
И.контр.				
Чтв.				

МИФТ 01.004.002.002			
Полка 2	Лист	Масса	Масштаб
			1:1
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов	1
НИУ "МЭИ"		Формат А3	

Копирован

Формат А3



МИФТ 01.004.002.003

Перв. примен.

Справ. №

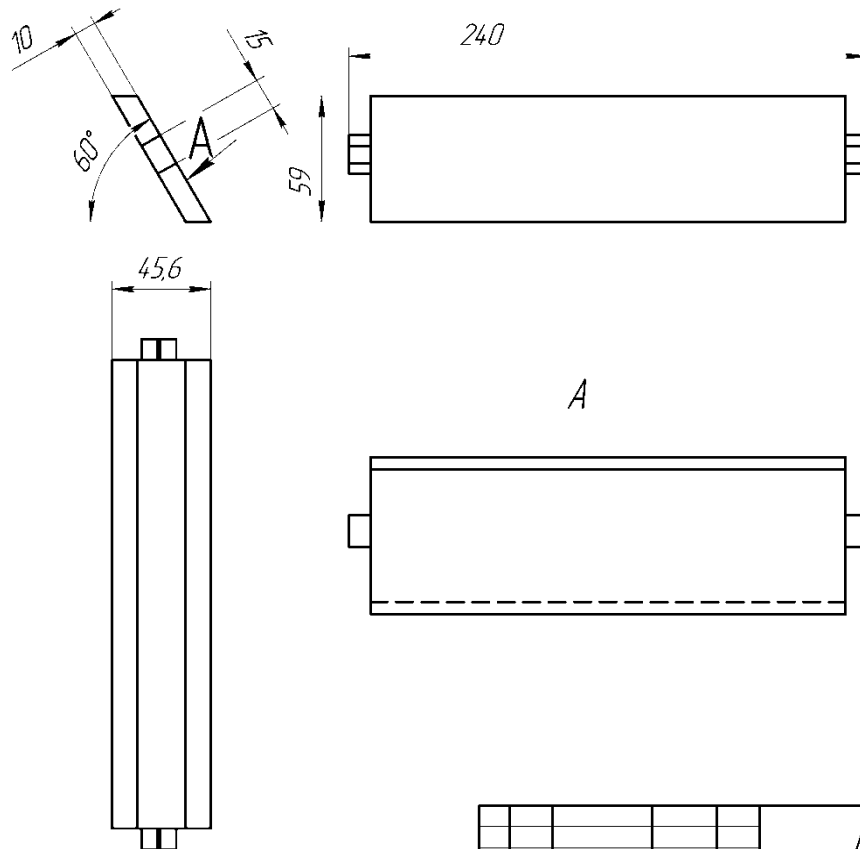
Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

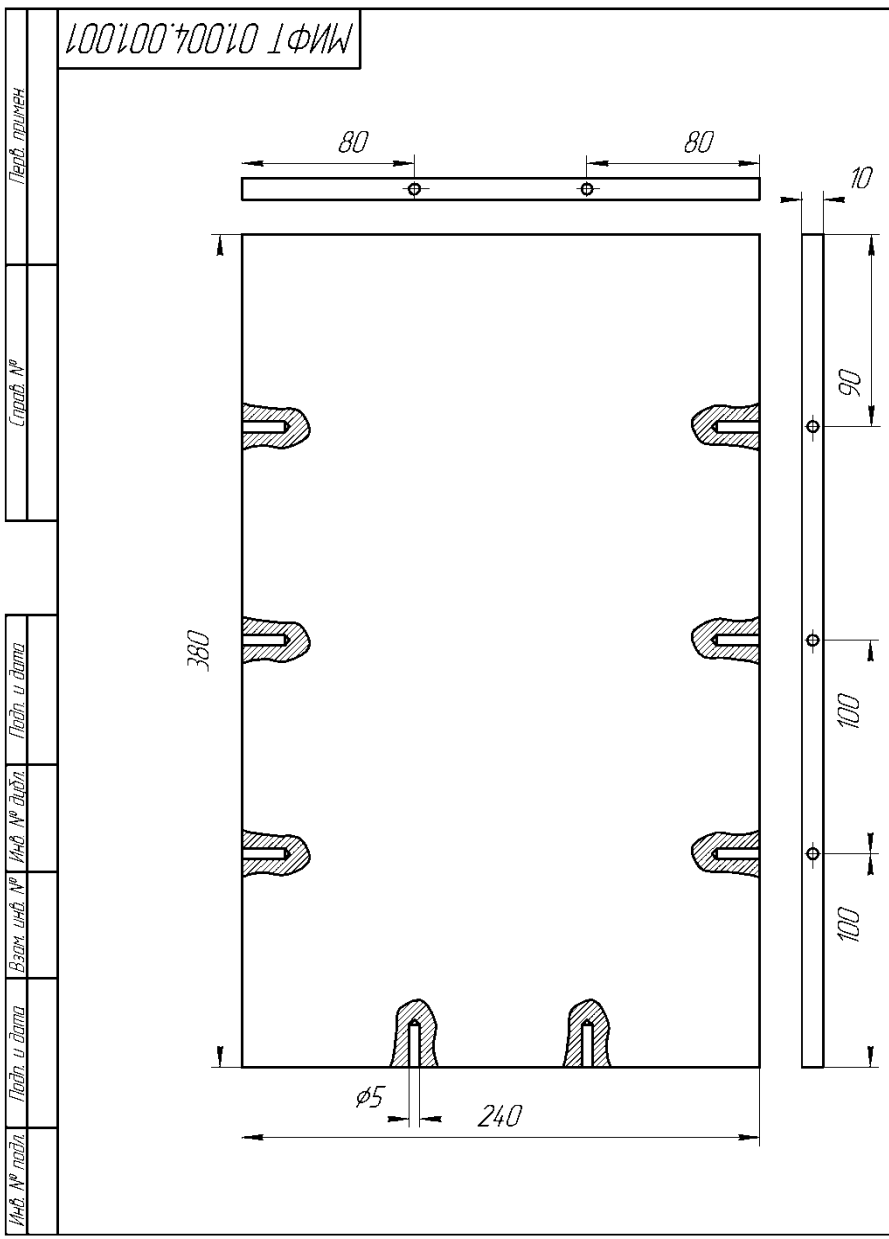
Изм. №



				МИФТ 01.004.002.003			
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Проб.	Ильин М.А.	Козадаев А.С.				1:2
Т.контр.					Лист	Листов	1
И.контр.					Полиметилметакрилат		НИУ "МЭИ"
Чтв.					ГОСТ 10667-90		

Копировал

Формат А3



Левый приточник

Справ. №

Площ. и дата

Инд. № докум.

Взам. инд. №

Площ. и дата

Инд. № перф.

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцусов М.А.		
Проб.	Козыбаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МФТ 01.004.001.001		
Стенка 1	Лист	Масса
	Листов	12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1

Копировал

Формат А3

МИФТ 01.003.001.002

Перв. примен.

Справ. №

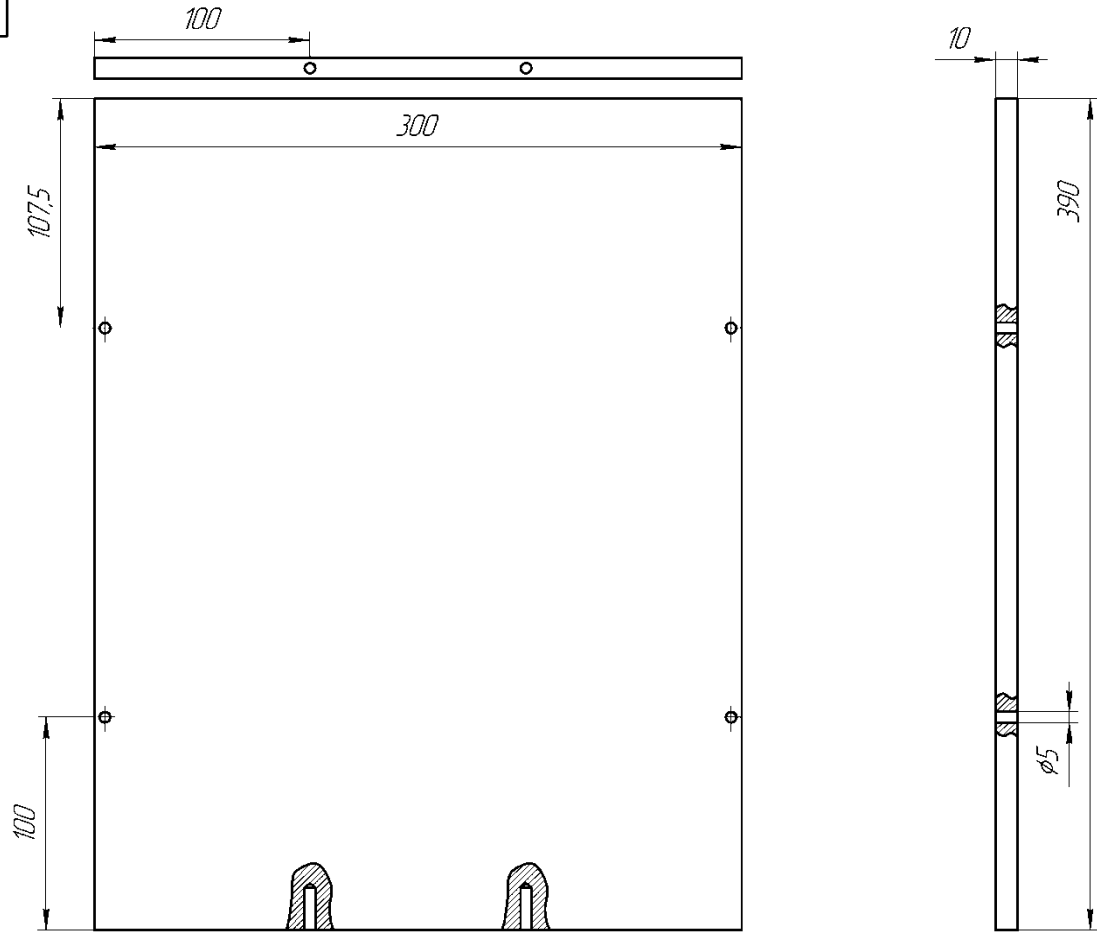
Подп. и дата

И-д. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

И-д. №

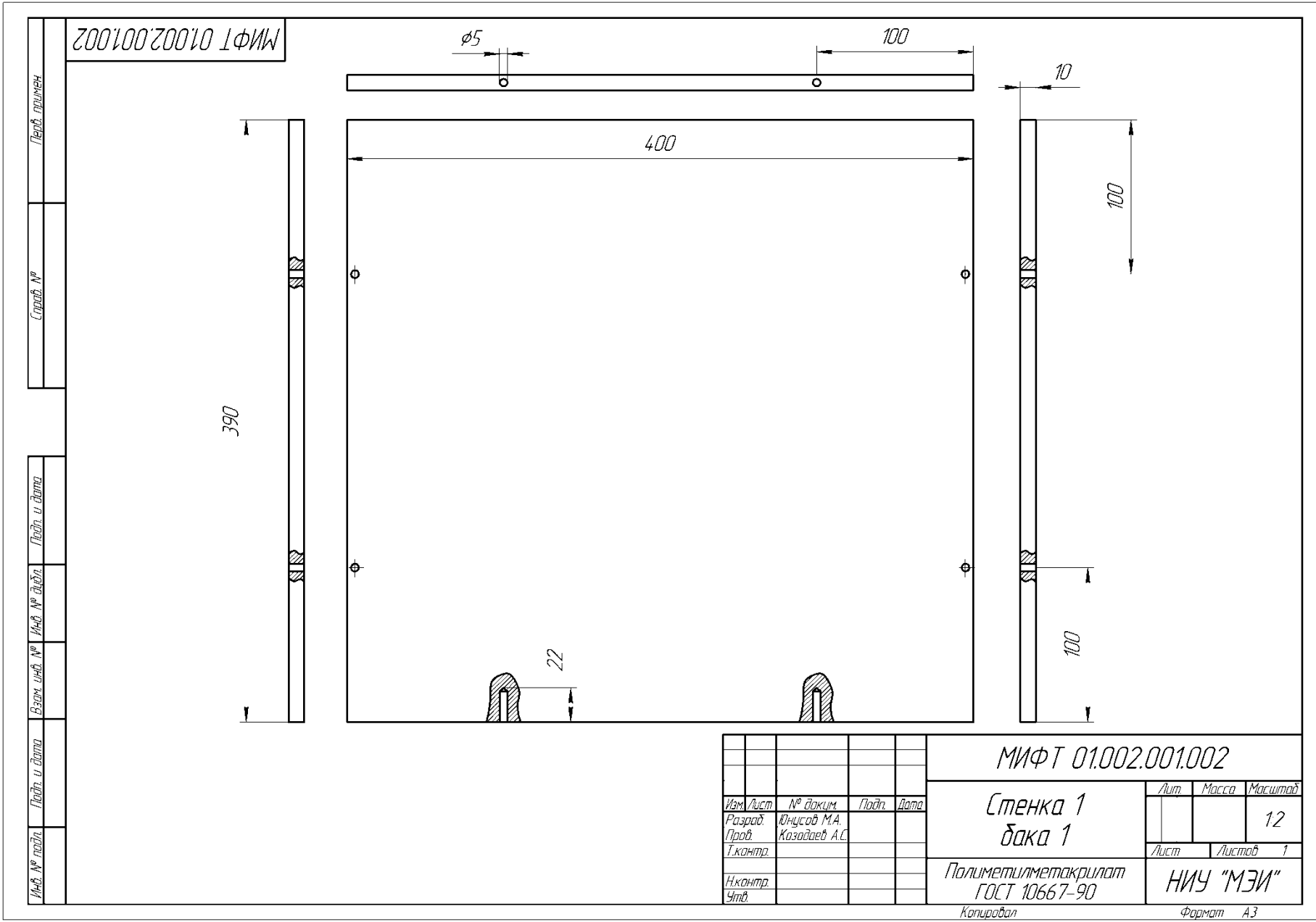


Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Внусов М.А.		
Проб.	Козыбаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.003.001.002		
Стенка 1 бака	Лист	Масса
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Масштаб
	1	12
НИУ "МЭИ"		1

Копирован

Формат А3



МИФТ 01.004.001.002

Левый пружин

Справ. №

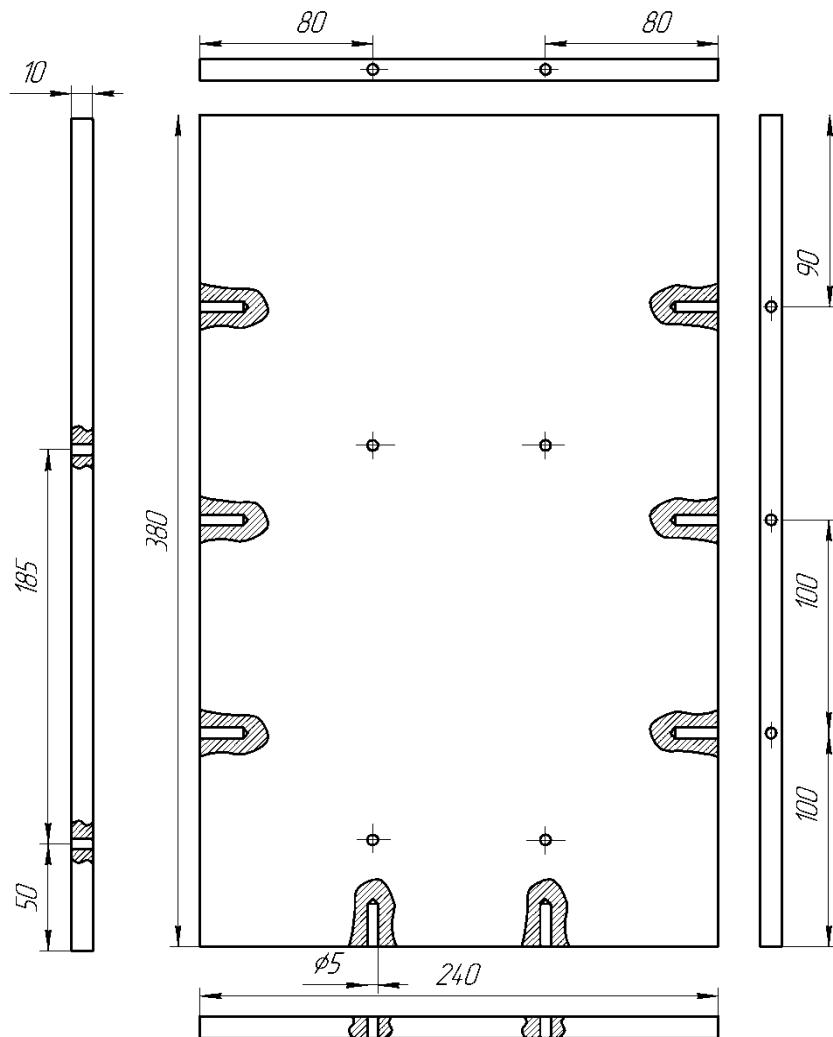
Лист и дата

Инд. № детали

Взам. инд. №

Лист и дата

Инд. № листа

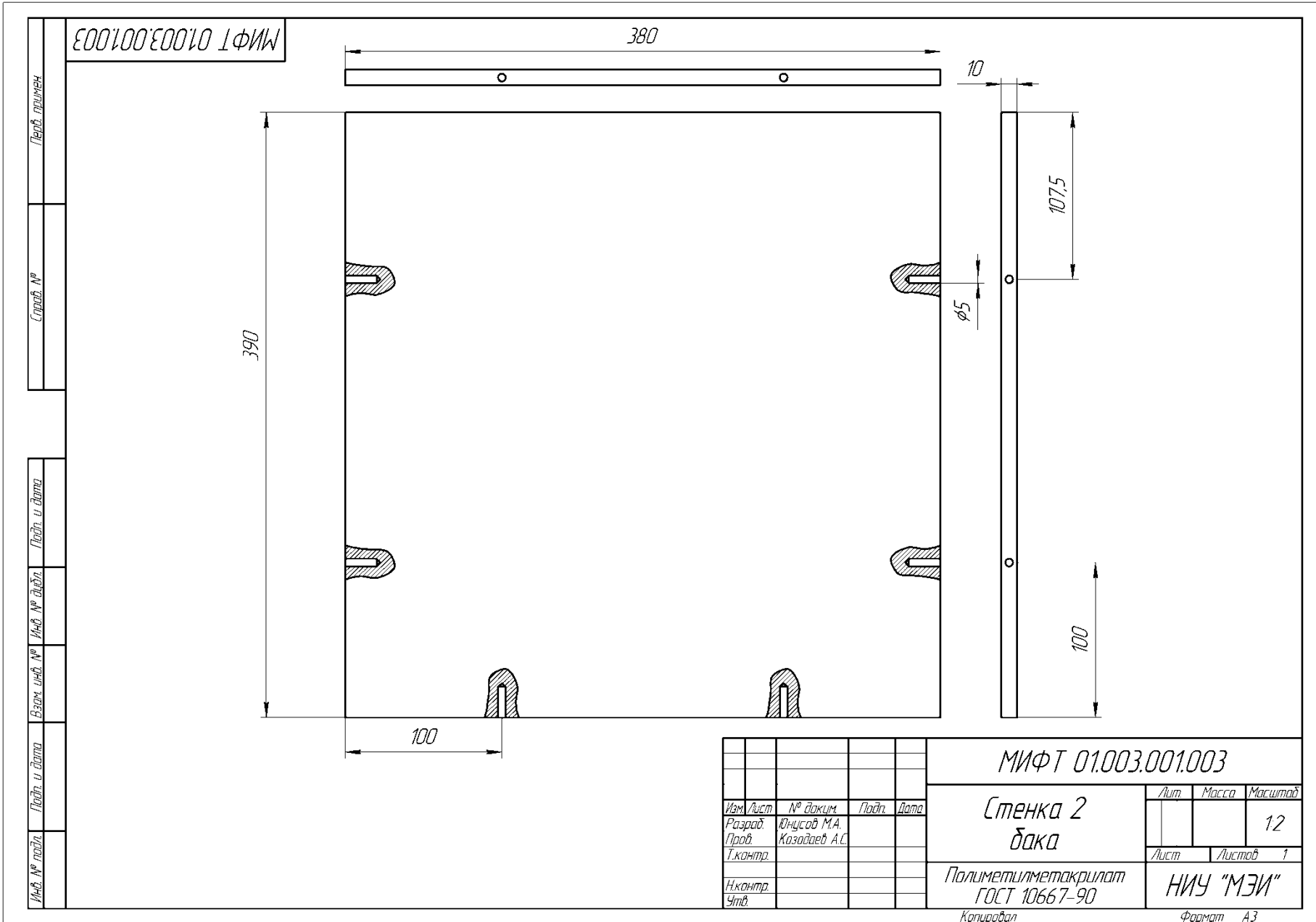


Изм./лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнусов М.А.		
Проб.	Козодаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.004.001.002		
Стенка 2	Лист	Масса
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Листов	1
НИУ "МЭИ"		

Копировал

Формат А3



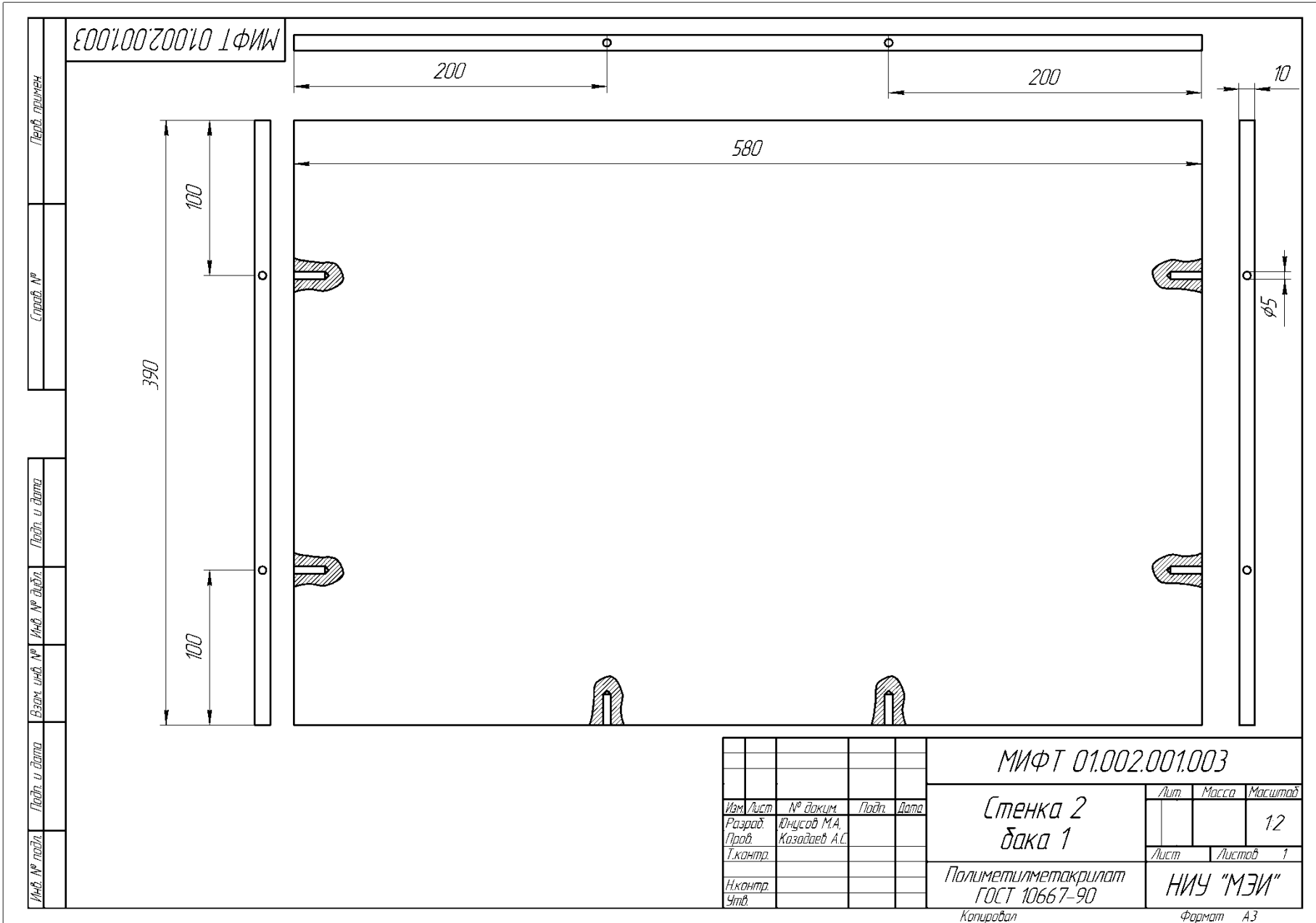
Инд. № подл. / Подп. и дата / Взам. инд. № / Инд. № отд. / Справ. № / Перв. примен.

Изм./лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцовой М.А.		
Проб.	Козадаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.003.001.003		
Стенка 2 бака	Лист	Масштаб
		12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1

Копирован

Формат А3



МДФ № подл. / Подл. и дата / Взам. инв. № / Инв. № одобр. / Подл. и дата / Справ. № / Предв. примен.

Изм./Лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцсов М.А.		
Проб.	Козадаев А.С.		
Т.контр.			
Исполн.			
Утв.			

**МИФТ 01.002.001.003**

**Стенка 2**  
**Бака 1**

Лист	Масса	Масштаб
		12
Лист	Листов	1

Полиметилметакрилат  
ГОСТ 10667-90

**НИУ "МЭИ"**

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.001.003

Перв. примен.

Справ. №

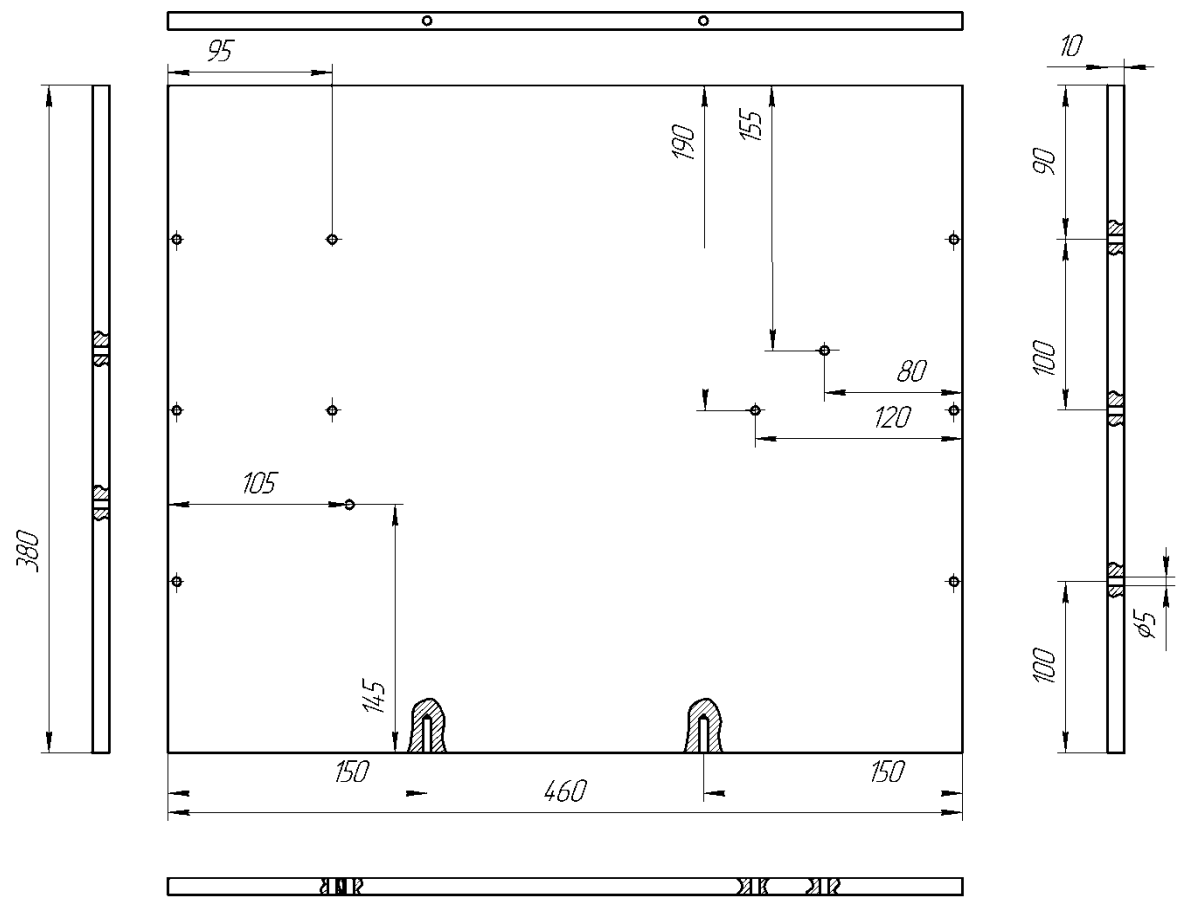
Подл. и дата

Инд. № эдочл.

Взам. инд. №

Подл. и дата

Инд. № подл.



Изм./лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцсов М.А.		
Проб.	Козадаев А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.004.001.003		
Стенка 3	Лист	Масштаб
		1:2,5
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1
Копирован	НИУ "МЭИ"	
	Формат А3	



МИФТ 01.004.001.004

Перв. примен.

Справ. №

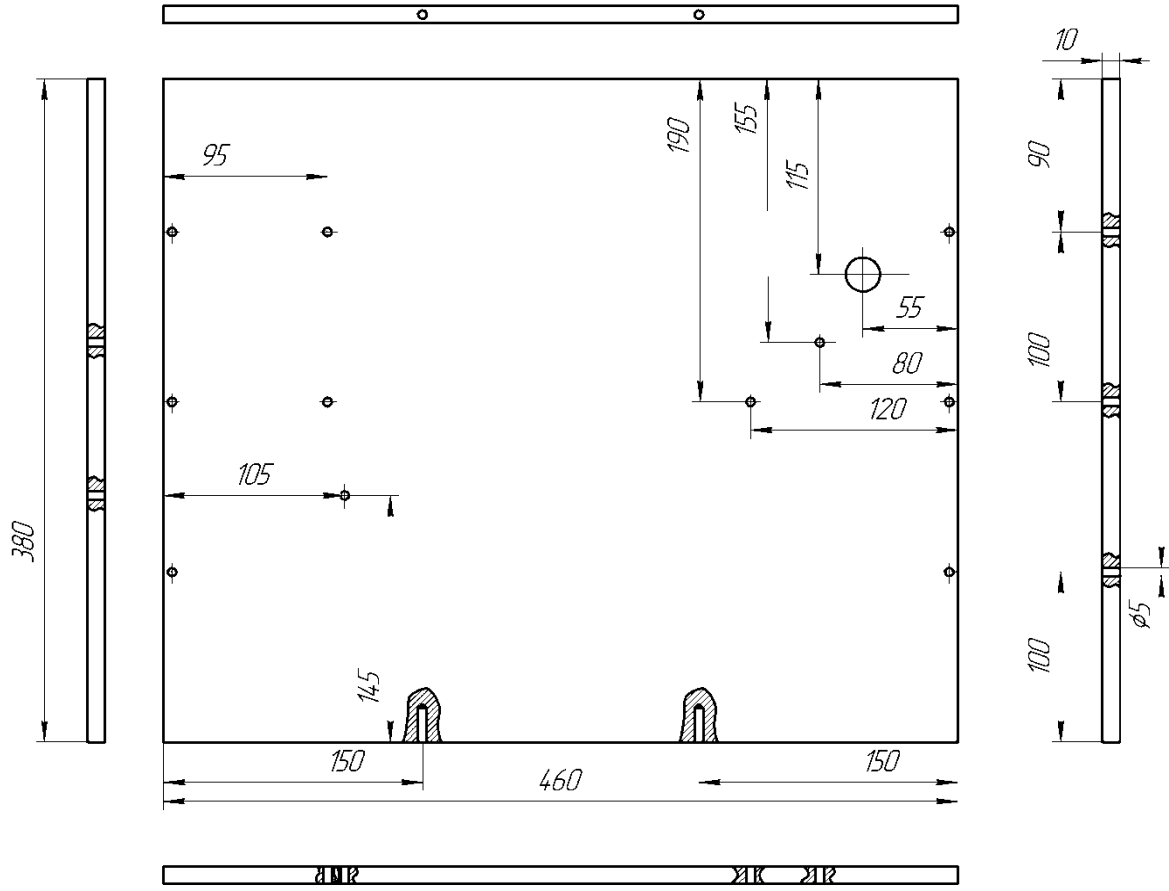
Подл. и дата

И-в. № д-ва

Взам. инв. №

Подл. и дата

И-в. № подл.



Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
Разработ.	Юнусов М.А.			
Проб.	Казаев А.С.			
Т.контр.				
И.контр.				
Чтв.				

МИФТ 01.004.001.004		
Стенка 4	Лит.	Масса
		1,25
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.002.005

Перв. примен.

Справ. №

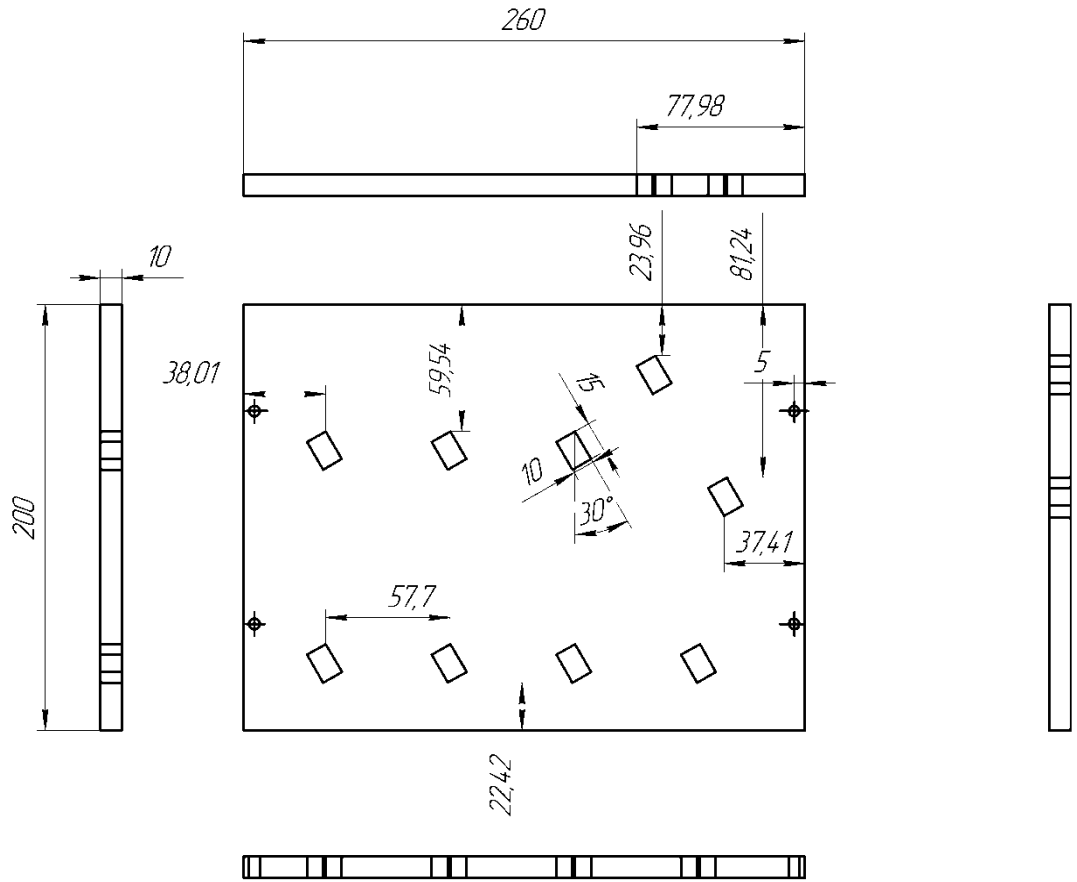
Подп. и дата

И-В. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

И-В. № подл.



Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.	Внусов М.А.			
Проб.	Козадаев А.С.			
Т.контр.				
И.контр.				
Чтв.				

МИФТ 01.004.002.005		
Стенка 5	Лист	Масса
	Листов	12
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.002.006

Перв. примен.

Строби. №

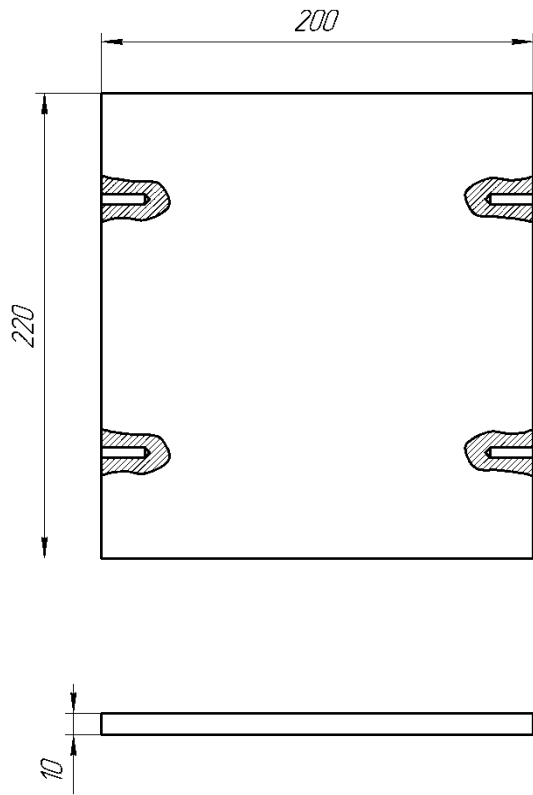
Подп. и дата

Изм. № дораб.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



Изм./Лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Юнцовой М.А.		
Проб.	Козадов А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			

МИФТ 01.004.002.006		
Стенка отгородительная	Лист	Масса
Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90	Лист	Листов
		1
НИУ "МЭИ"		12

Копирован

Формат А3

МИФТ 01.004.001.009

Перед. примен.

Справ. №

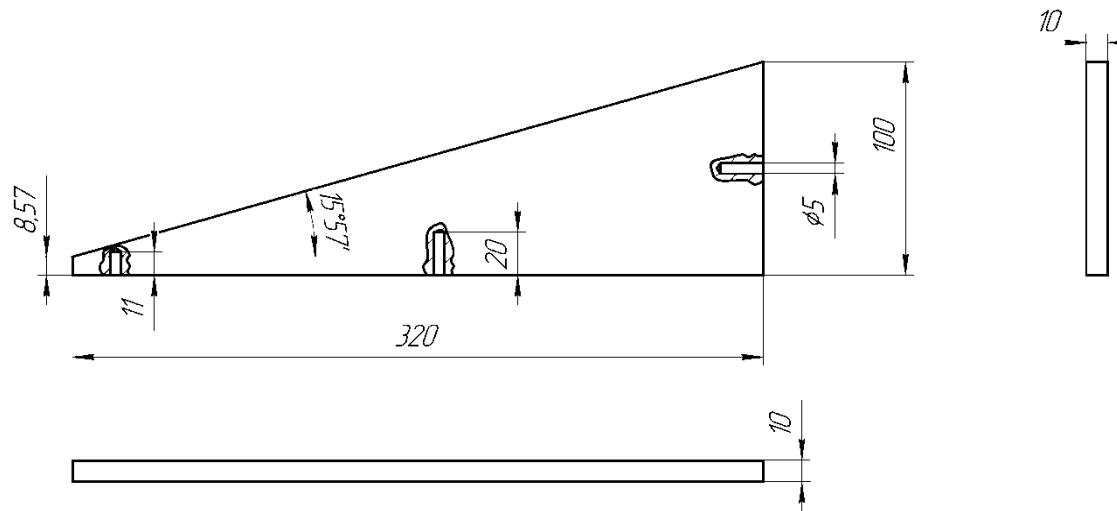
Подп. и дата

И-д. № дораб.

Взам. инв. №

Подп. и дата

И-д. № перераб.



				МИФТ 01.004.001.009				
Изм./Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Стенка подпорная		Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Юнусов М.А.							12
Проб.	Козыбаев А.С.					Лист	Листов	1
Т.контр.				Полиметилметакрилат ГОСТ 10667-90		НИУ "МЭИ"		
Исполн.						Формат А3		

Копировал

Формат А3

[4]

МИФТ 01.005.001.001

Лист № 1

Сторона № 1

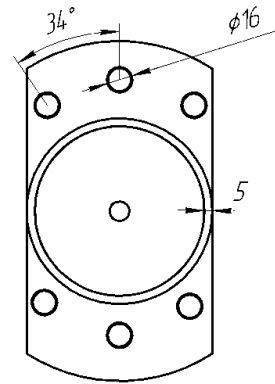
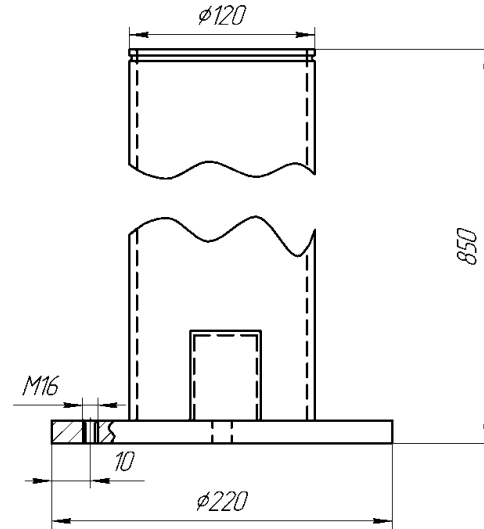
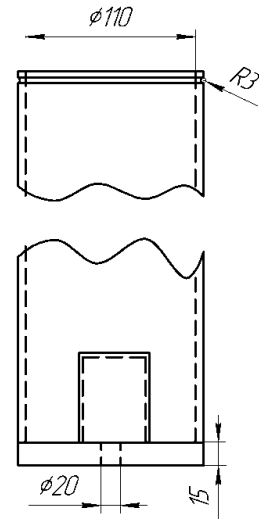
Лист № 1

Лист № 1

Лист № 1

Лист № 1

Лист № 1



				МИФТ 01.005.001.001		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса
Разраб.		Юнусов М.А.				14
Проб.		Козыбаев А.С.			Лист	Листов
Т.контр.						1
И.контр.					НИУ "МЭИ"	
Этб.					Формат А3	
Цилиндр					Полиметилметакрилат	
ГОСТ 10667-90					Копировал	

Формат		Зача	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Зача	Лист						
Перв. примен.					Документация		
Справ. №				МИФТ 01.000.000.000СБ	Сборочный чертёж		
					Детали		
			1		Дренажная система	6	
			11		Кран шаровой	3	
			12		Кран шаровой трёхходовой	9	
			10		Манометр	6	
			39		Регулятор давления	3	
			40		Соединительный элемент	6	
			7		Тройник 90гр. D20	4	
			8		Шарнир	6	
			38		Шпилька	2	
Подп. и дата							
Инв. № докл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.
		Разраб.					Лист
		Проб.					Листов
							1
		Н.контр.					
		Чтв.					

Копировал

Формат А4

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №		A3			МИФТ 01.002.000.000СБ	Сборочный чертёж бака 1				
		A3				Сборочные единицы				
Подп. и дата		A3	1		МИФТ 01.002.001.000СБ	Бак 1	1			
		Детали								
		A3	4		МИФТ 01.002.001.001	Основание бака 1	1			
Подп. и дата		A3	42		МИФТ 01.002.001.002	Стенка 1 бака 1	2			
		A3	43		МИФТ 01.002.001.003	Стенка 2 бака 1	2			
Взам. инв. №		Инв. № докл.								
Подп. и дата										
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
		Разраб.					Лист	Лист		
		Проб.						Листов		
		Н.контр.					1			
		Утв.								

Копировал

Формат А4

	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.	
								Подп.	Дата
Справ. №					<i>Документация</i>				
	A3			<i>МИФТ 01.003.000.000</i>	<i>Сборочный чертеж бака 2 и 3</i>				
					<i>Сборочные единицы</i>				
	A3	1		<i>МИФТ 01.003.001.000СБ</i>	<i>Бак 2</i>	1			
	A3	6		<i>МИФТ 01.003.002.000СБ</i>	<i>Бак 3</i>	1			
Подп. и дата					<i>Детали</i>				
	A3	4		<i>МИФТ 01.003.001.001</i>	<i>Основание бака</i>	2			
	A3	45		<i>МИФТ 01.003.001.002</i>	<i>Стенка 1 бака</i>	4			
	A3	46		<i>МИФТ 01.003.001.003</i>	<i>Стенка 2 бака</i>	4			
Взам. инв. №	Инв. № д/дл.								
Подп. и дата									
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
	Разраб.						Лист	Лист	Листов
	Проб.								1
	Н.контр.								
Утв.									

Копировал

Формат А4





		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. примен.									
						Документация			
Справ. №		A3			МИФТ 01.005.000.000СБ	Сборочный чертёж цилиндра			
							Сборочные единицы		
		A3	1		МИФТ 01.005.001.000СБ	Цилиндр	3		
						Детали			
Подп. и дата		A3	4		МИФТ 01.005.001.004	Болт М16	41		
		A3	48		МИФТ 01.005.001.002	Крышка верхняя	3		
		A3	49		МИФТ 01.005.001.003	Крышка нижняя	3		
		A3	1		МИФТ 01.005.001.001	Цилиндр	3		
Взам. инв. №	Инв. № докл.								
Подп. и дата									
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Лист	Листов
	Разраб.								1
	Проб.								
	Н.контр.								
Утв.									

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
<i>Документация</i>							
А3			МИФТ 01.004.000.000СБ	Сборочный чертёж отстойника			
<i>Сборочные единицы</i>							
А3	1		МИФТ 01.004.001.000СБ	Отстойник	1		
А3	47		МИФТ 01.004.002.000СБ	Элемент тонкослойный	1		
<i>Детали</i>							
А3	4		МИФТ 01.004.001.007	Основание дополнительное	1		
А3	33		МИФТ 01.004.001.008	Основание наклонное	1		
А3	31		МИФТ 01.004.001.006	Основание отстойника	1		
А3	30		МИФТ 01.004.001.005	Перегородка	1		
А3	34		МИФТ 01.004.002.001	Полка 1	2		
А3	35		МИФТ 01.004.002.002	Полка 2	1		
А3	36		МИФТ 01.004.002.003	Полка 3	1		
А3	37		МИФТ 01.004.002.004	Полка 4	1		
А3	26		МИФТ 01.004.001.001	Стенка 1	1		
А3	27		МИФТ 01.004.001.002	Стенка 2	1		
А3	28		МИФТ 01.004.001.003	Стенка 3	1		
А3	29		МИФТ 01.004.001.004	Стенка 4	1		
А3	48		МИФТ 01.004.002.005	Стенка 5	2		
<i>Изм. Лист № докум. Подп. Дата</i>							
Инв. № подл.	Разраб.				Лист	Лист	Листов
	Проб.					1	2
	Н.контр. Утв.						

Копировал

Формат А4

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дддд.		Подп. и дата		Формат	Зона	Плоз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
										АЗ	47	МИФТ 01.004.002.006	Стенка отгородительная	1		
										АЗ	50	МИФТ 01.004.001.009	Стенка подпорная	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата												Лист
																2

Копировал \_\_\_\_\_ Формат А4