

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно - строительный  
институт

Инженерные системы зданий и сооружений  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.И. Матюшенко  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

20.03.02 «Природообустройство и водопользование» профиль 20.03.02.06  
«Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и  
водоотведения»

Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_ ст. преподаватель А. Г. Бобрик  
подпись, дата      должность, ученая степень      инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ Е. В. Ускова  
подпись, дата      инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ А. Г. Бобрик  
подпись, дата      инициалы, фамилия

Красноярск 2021

## Реферат

Выпускная квалификационная работа по теме «Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае», содержит 64 страницы текстового документа, 18 использованных источников, 6 листов графического материала.

### ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ, ПОДЗЕМНЫЙ ВОДОЗАБОР, СОРБЦИОННЫЙ ФИЛЬТР, ИОННООБМЕННЫЙ ФИЛЬТР, УФ+УЗ

Объект бакалаврской работы – Красноярская ТЭЦ

Цели бакалаврской работы:

- обоснование технологической схемы для водоподготовки на ТЭЦ;
- предложение первичной водоподготовки на водозаборе;
- модернизация существующих сооружений;
- эколого-экономическое обоснование технического решения.

Актуальность бакалаврской работы:

Повышенные требования к потребляемой воде делают необходимым постоянное совершенствование технологической схемы.

Постоянный контроль и работа над модернизацией технологической схемы водоподготовки, позволяет увеличивать КПД предприятий ТЭК и увеличить срок эксплуатации их главных сооружений.

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат.....	1
ВВЕДЕНИЕ .....	3
2 Существующая технологическая схема .....	5
2.1 Описание существующей технологической схемы .....	5
2.2 Аналитическое заключение о требуемой модернизации .....	8
2.3 Оптимизация существующей схемы .....	9
3 Расчет предлагаемой технологической схемы водоподготовки .....	11
3.1 Расчет индивидуальных норм водопотребления .....	11
3.2 Определение расчётных расходов воды.....	16
3.3 Расчет подземного водозабора. ....	17
3.3.1 Определение категории водозабора .....	17
3.3.2 Обоснование выбора типа водозаборного сооружения.....	18
3.3.3 Расчет скважины.....	18
3.3.4 Гидрогеологический расчет скважины.....	21
3.3.6 Определение уровней воды в скважине .....	23
3.3.7 Подбор основного и вспомогательного оборудования .....	25
3.3.8 Водоподъёмные установки и регулирующие ёмкости .....	25
3.3.9 Насосное оборудование.....	27
3.3.10 Грузоподъёмное оборудование.....	29
3.3.11 Строение павильона и устья скважины .....	29
3.3.12 Выбор арматуры .....	30
3.4 Зоны санитарной охраны .....	31
3.5 Расчет напорного механического фильтра.....	37
3.6 Расчет напорного сорбционного фильтра .....	42
3.7 Расчет ионитовой установки.....	47
3.7.1 Катионитовые фильтры. ....	49
3.7.2 Анионитовые фильтры. ....	51
3.8 Расчет УФ+УЗ - установки для обеззараживания воды .....	53
4. Эколого-экономическое обоснование проекта. ....	55
4.1 Определение размера вреда при использовании поверхностного источника.....	55
4.2 Расходы на заработную плату.....	57
Заключение .....	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Наш край считается одним из флагманов отечественной энергетики. Этот статус обоснован не только мощнейшими ГЭС, функционирующими на территории региона. Энергосистема края является крупнейшей по установленной мощности электростанций в России — по состоянию на конец 2020 года, на территории Красноярского края (без учёта зоны децентрализованного энергоснабжения) эксплуатировались 23 электростанции общей мощностью 18 193,8 МВт, в том числе 18 тепловых электростанций и 5 гидроэлектростанций. В 2019 году они произвели 67 420 млн кВт·ч электроэнергии.

Сама по себе энергетика является одной из самых крупных и востребованных отраслей промышленности. Это обусловлено тем, что предприятия ТЭЦ, являются и наиболее мощными водопотребителями, поскольку в энергетике нуждаются населенные пункты и промышленные предприятия.

Спецификой энергетики Красноярского края является наличие Норильско-Таймырского энергорайона, изолированного от единой энергосистемы России, а также зоны децентрализованного энергоснабжения и водоснабжения.

Основными водопользователями на тепловой электростанции являются конденсаторы паровых турбин. Кроме них на электростанциях имеется целый ряд значительно более мелких теплообменных аппаратов, к которым подводится охлаждающая вода: воздухоохладители или газоохладители генераторов, воздухоохладители питательных электронасосов и возбuditелей генераторов, маслоохладители систем смазки механизмов.

Повышенные требования к потребляемой воде делают необходимым постоянное совершенствование технологической схемы.

Целью оптимизации служит поддержание и модернизация действующего оборудования ТЭЦ в отличном технологическом состоянии. Также улучшение недостаточно эффективно работающих, по современным меркам, систем водного хозяйства или их отдельных элементов. Это все позволяет увеличить КПД и срок эксплуатации существующих сооружений. Данная проблема является чрезвычайно актуальной.

Выбор оптимальных технологических схем водоподготовки воды – достаточно сложная задача, что обусловлено преимущественным многообразием находящихся в воде примесей и высокими требованиями, предъявляемыми к качеству подготовки воды. При выборе метода водоподготовки учитывается не только состав примесей исходной воды, но и требования, которым должны удовлетворять вода после водоподготовки для питания паровых агрегатов, работающих на ТЭЦ.

## **2 Существующая технологическая схема**

### **2.1 Описание существующей технологической схемы**

Технологическая схема включает:

- 1) известкование с коагуляцией;
- 2) механическое фильтрование;
- 3) умягчение по технологии UPCORE (разработанная компанией «The

Dow Chemical Company»). Её модификации в наибольшей степени отвечают современным требованиям, предъявляемым к процессам противоточной регенерации ионитов. Её применение позволяет потребителю обеспечивать высокое качество обработки при минимальных значениях расходов реагентов и потребления воды на собственные нужды, простоте реализации и удобстве в эксплуатации в сочетании со стабильностью рабочих показателей в широчайшем диапазоне нагрузок и беспрецедентной для противоточных процессов с зажатым слоем устойчивостью к присутствию взвешенных веществ в исходной воде.

4) Далее обрабатываемая вода разделяется на два потока: для подпитки теплосети и на дальнейшую обработку для получения воды, обессоленной по схеме:

- 5) обратный осмос;
- 6) деминерализация по технологии UPCORE;
- 7) финишная очистка на отдельных Н-ОН фильтрах для котлов СКД.

Для умягчения по технологии UPCORE используются 7 фильтров ИПР-А-У- 2,6(О) (5 фильтров в работе; 1 - на регенерации; 1 - в резерве), каждый из которых способен обрабатывать от 50 м<sup>3</sup>/ч до 400 м<sup>3</sup>/ч исходной воды.

Основные расчетные показатели блока умягчения.

Оборудование:

Фильтр ионообменный диаметром 3,4 м, шт. 7

Расчетная производительность одного фильтра, м<sup>3</sup>/ч 300

Фильтроцикл:	8270 м <sup>3</sup> , или 27 ч
Остаточная жесткость, мг-экв/л	0,01
Объем загрузки ионитов(на один фильтр), м	28
Расход соли(по 100% веществу) на регенерацию, кг	2050
Расход соли по стехиометрии. %	142
Продолжительность регенерации:	1 ч 20 мин
Потребление воды на собственные нужды за регенерацию, м <sup>3</sup> :	170

Обратноосмотическая установка производительностью 450 м<sup>3</sup>/ч состоит из 8 модулей, каждый производительно- 60 м<sup>3</sup>/ч.

Выбраны стойкие к отравлению органическими веществами мембранные элементы «Фильмтек» типа BW30. Каждый мембранный блок построен по двухступенчатой схеме по концентрату.

Модульный принцип построения позволяет сократить капитальные затраты на вспомогательное оборудование(станции химической мойки мембран) и легко, с минимальными эксплуатационными затратами, адаптировать установку к работе в условиях переменной нагрузки.

Оборудование (расчетные показатели):

Модулей мембранных, шт. 8

Производительность одного модуля по пермеату, м<sup>3</sup>/ч: 50

Подача исходной воды на один модуль, м<sup>3</sup>/ч: 69

Рабочее давление, атм: 12,5

Кол-во мембранных элементов(стойких к отравлению)  
в модуле, шт.: 54

Остаточное солесодержание пермеата, мг/л: <25

(в том числе №<9мг/л, 8Ю<sub>2</sub><0,14 мг/л)

Для деминерализации обратноосмотического пермеата используются 4 цепочки противоточных ионообменных фильтров, работающих по технологии 11PCOKE (1 - в работе; 1 - на регенерации; 1 - в резерве; 1 -

дополнительная на случай байпассирования обратного осмоса, чтобы, задействовав две цепочки одновременно, обеспечить длительность фильтроцикла не менее 8 часов в соответствии с действующими нормами), каждая из которых включает комбинацию из Н-фильтра и ОН-фильтров; фильтры ИПР А-О-3,4; нагрузка на цепочку - от 50 м<sup>3</sup>/ч до 500 м<sup>3</sup>/ч.

Оборудование (расчетные показатели):

Цепочки фильтров, шт.: 4

(всего 8 шт диаметром 3.4 м), в работе 1 цепочка;

Производительность одной цепочки. м<sup>3</sup>/ч 500

Фильтроцикл, м 49800

Качество обработанной воды

электропроводность. мкСм/см <0,9

Na, мкг/л <85

SiO<sub>2</sub>, мкг/л <20

Объем загрузки катионитного фильтра, м<sup>3</sup> 28

Объем загрузки анионитного фильтра, м<sup>3</sup> 24

Расход реагентов(по 100% веществу) на регенерацию, кг:

серная кислота 1307

щелочь 750

Расход реагентов по стехиометрии:

серная кислота 135

щелочь 129

Продолжительность регенерации, ч: 2

Потребление воды на собственные нужды за регенерацию, м<sup>3</sup>: 213

После блока финишной очистки качество обессоленной воды соответствует требованиям, предъявляемым для питания энергетических котлов СКД по основным показателям: электропроводности, остаточному содержанию натрия и силикатов.



## 2.2 Аналитическое заключение о требуемой модернизации

Предприятия ТЭК используют потребляют воду в огромных количествах, и для различных целей. Так для технологического процесса, а именно, для питания паровой котельной час требуется обессоленная вода с солесодержанием  $< 5$  г/л,  $J_0 < 0,005$  мг-экв/л.  $Fe < 0,05$  мг/л,  $SiO_2 < 0,08$  мг/л, рН 8,5-9,5.

Повышенные требования к потребляемой воде делают необходимым постоянное совершенствование технологической схемы.

Постоянный контроль и работа над модернизацией технологической схемы водоподготовки, позволяет увеличивать КПД предприятий ТЭК и увеличить срок эксплуатации их главных сооружений.

Выбор оптимальных технологических схем водоподготовки воды – достаточно сложная задача, что обусловлено преимущественным многообразием находящихся в воде примесей и высокими требованиями, предъявляемыми к качеству подготовки воды. При выборе метода водоподготовки учитывается не только состав примесей исходной воды, но и требования, которым должны удовлетворять вода после водоподготовки для питания паровых агрегатов, работающих на ТЭЦ.

При выборе того или иного метода водоподготовки воды для питания паровых турбин и компоновки оборудования водоподготовки следует учесть ряд условий, а именно:

- Эффективность и экологическая безопасность применяемой технологии водоподготовки;
- Надежность и простота монтажа оборудования без принципиального изменения существующих параметров системы;
- Экономический эффект и возможность энергоресурс сбережения.

В результате выполнения бакалаврской работы, была предложена измененная технологическая схема на ТЭЦ.

## 2.3 Оптимизация существующей схемы

Основные направления модернизации технологической схемы:

- модернизация сорбционных фильтров, путем замены угольной загрузки на сорбирующую загрузку – Сорбент АС, который представляет собой искусственный фильтрующий материал, который имеет большую площадь поверхности.

«Сорбент АС» действует как катализатор окисления в реакциях взаимодействия растворенного кислорода с соединениями железа (II) и (III), в результате которой образуется гидроксид железа (III), который является не растворимым соединением и легко удаляется обратным током воды. Сероводород также окисляется и задерживаются в последующих слоях загрузки с удалением обратным током воды. Сорбент не требует для регенерации применение каких-либо химических реагентов. Необходимой и достаточной является периодическая промывка водой или водо - воздушная (что эффективнее). В процессе эксплуатации сорбент не расходуется, является очень прочным материалом, физико-химические свойства сорбента отвечают требованиям ГОСТ Р 51641-2000.

Применяется как основной, так и многослойный фильтрующий материал в напорных и безнапорных фильтрах. Благодаря большой площади поверхности, сорбент может эффективно работать при высокой скорости потока воды, что невозможно осуществлять с другими загрузками для фильтров в виде кварцевого песка и гидроантрацита

Одно из самых важных отличий «Сорбента АС» от аналогов заключается в том, что этот материал не подвергался дополнительной обработке покрытиями, изготовленными на основе активных металлов. Благодаря этому исключена возможность того, что сорбент перестанет действовать после того, как эти покрытия истощатся или будут смыты.

Преимущества данного материала: долгий срок эксплуатации с низкими ежегодными потерями, менее 2%; «Сорбент АС» работает со всеми видами окислителей: озон, гипохлорит натрия и др.; работает в присутствии сероводорода; работает при рН = 6,5 (для загрузки ВИРМ минимальное значение 6,8); предварительное хлорирование не снижает активность «Сорбента АС»; повышает рН воды до 1,0-1,5 единиц в зависимости от исходного значения рН воды, что обеспечивает эффективное удаление железа; увеличивает ресурс работы ионообменных смол; межрегенерационный период до 4 раз, значительно снижает отравление смол железом.

«Сорбент АС» не обработан дополнительно химически активными покрытиями на основе марганца или иного каталитически активного металла, что исключает вероятность отказа в работе при истощении или смыве данных поверхностей. Это одно из принципиальнейших отличий «Сорбента АС» от загрузок типа «ВИРМ», «Greensand», «МЖФ», черных песков и т.п. Каталитически активные компоненты входят в структуру гранулы сорбента равномерно, что обеспечивает эффективную работу даже при разломе гранулы.

Таблица 1 - Основные технические характеристики сорбента

Насыпная плотность	700 ± 20 кг/м <sup>3</sup>
Удельная поверхность	150 ± 30 м <sup>2</sup> /г
Истираемость	0.06%
Измельчаемость	0,04%
Условная механическая прочность	0.79%
Межзерновая пористость	49 ± 3%
Коэффициент формы зерна	1.65-1.71
Ёмкость по нефтепродуктам в динамических условиях	170 г/кг
Расчётная ёмкость по железу и взвешенным веществам	1 г/л
Коэффициент распределения радионуклидов	103-104
рН	минимум 5.8
Фракции фильтрующего материала	0.315-0.7; 0.7-1.5; 1.5-3.0 мм
Высота слоя	40-100 см
Скорость фильтрации	10-20 м/ч
Скорость промывки при расширении 30-35%	20 м/ч

Гранулированный фильтрующий материал терракотового цвета (светло-оранжевого) изготовленный из природного сырья, с содержанием основных компонентов:  $\text{SiO}_2$  до 84%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не более 3.2%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  - 8%. Токсичность водной вытяжки удовлетворяет МР ЦОС ПВ Р 005-95. По содержанию радионуклидов является однородным и соответствует требованиям НРБ-96 ГН 2.6.1.054-96.

Применение данной загрузки позволяет уменьшить общее содержание  $\text{Fe}$  в воде, тем самым увеличить срок эксплуатации станции водоподготовки.

- модернизация ступени обеззараживания, путем замены УФ-установки на установку УЗ+УФ типа ХРК-М. Ультразвук препятствует обрастанию чехлов бактерицидных ламп и повышает эффективность обработки во много раз. Установки не требуют периодической очистки, что позволяет уменьшить количество обслуживающего персонала.

В итоге был разработан вариант оптимизации существующей схемы водоподготовки и предложен вариант первичной обработки на напорных фильтрах, с заменой фильтрующей загрузки. В результате представлен расчет оптимизированной схемы водоподготовки и ее эколого-экономическое обоснование.

### **3 Расчет предлагаемой технологической схемы водоподготовки**

#### **3.1 Расчет индивидуальных норм водопотребления**

На ТЭЦ норма потребления свежей воды на основные технологические нужды равна сумме норм в системе охлаждения основного оборудования и вспомогательных механизмов.

$$H_{ТЕХ}^{\text{Э.СВ}} = H_{ОХ}^{\text{Э.СВ}} + H_{ВМ}^{\text{Э.СВ}}, \quad (1)$$

$$H_{ТЕХ}^{\text{Т.СВ}} = H_{ВМ}^{\text{Т.СВ}} \quad (2)$$

Норма потребления свежей воды на отпуск электроэнергии определяется для каждого турбоагрегата:

$$H_{ТА-1}^{\text{Э.СВ}} = 0 + 1,248 = 1,248 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{ТА-2}^{\text{Э.СВ}} = 2,44 + 1,248 = 3,688 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{ТА-3}^{\text{Э.СВ}} = 2,58 + 1,248 = 3,828 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

Норма водопотребления свежей воды на тепло одинакова для всех турбоагрегатов и равна:

$$H_{ТЕХ}^{\text{Т.СВ}} = 0,028 \text{ м}^3/\text{Гкал}$$

Норма потребления оборотной воды равна норме оборотной воды системы ГЗУ:

$$H^{\text{Э.СВ}} = H_{ГЗУ}^{\text{Э.СВ}} = 1,828 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H^{\text{Т.СВ}} = H_{ГЗУ}^{\text{Т.СВ}} = 0,914 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}$$

Норма потребления повторно-используемой воды на основные технологические нужды равна сумме норм потребления повторно-используемой воды в системе охлаждения вспомогательных механизмов основного оборудования в системе ВПУ, подпитки теплосети, химпромывок котлов и в системе ГЗУ. Эта норма одинакова для всех турбоагрегатов.

$$H^{\text{Э.ПП}} = H_{ВПУ}^{\text{Э.ПП}} + H_{ХО}^{\text{Э.ПП}} + H_{ГЗУ}^{\text{Э.ПП}}, \quad (3)$$

$$H^{\text{Т.ПП}} = H_{ВПУ}^{\text{Э.СВ}} + H_{ХО}^{\text{Э.СВ}} + H_{ГЗУ}^{\text{Э.СВ}}, \quad (4)$$

$$H^{\text{Э.ШП}} = 0,08 + 0,0005 + 0,08 = 0,09 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H^{\text{Э.ШП}} = 0,001 + 0,005 + 0,27 = 0,276 \text{ м}^3/\text{Гкал}.$$

С учетом потребления повторно-используемой воды в системе охлаждения турбоагрегата ст.№1  $H_A^{\text{II}} = 7,4445 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}$ , общестанционная норма водопотребления повторно-используемой воды определяется как средневзвешенная величина  $H_{\text{ТЕХ}}^{\text{Э.СВ}}$  и  $H_{\text{ТЕХ}}^{\text{Э.СВ}}$

$$H^{\text{Э.ШП}} = 1,42 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}$$

На производства потребляется повторно-используемая вода.

$$H_{\text{ВП}}^{\text{Э.ШП}} = 0,899 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}$$

На хозяйственно-питьевые нужды используется вода питьевого качества.

$$H_{\text{Х-П}}^{\text{Э.СВ}} = 0,074 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{\text{Х-П}}^{\text{Т.СВ}} = 0,035 \text{ м}^3/\text{Гкал}.$$

Нормативы потерь на основные технологические нужды представляют собой сумму потерь в системе охлаждения, ВПУ и ГЗУ.

$$P^{\text{Э}} = P_{\text{ОХ}}^{\text{Э.СВ}} + P_{\text{ВПУ}}^{\text{Э}} + P_{\text{ГЗУ}}^{\text{Э}}, \quad (5)$$

$$P^{\text{Т}} = P_{\text{ГЗУ}}^{\text{Т}} \quad (6)$$

Нормативы потерь на отпуск электроэнергии определяются для турбоагрегатов и равны:

$$H_{TA-1}^B = 0,206+0,209=0,415 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{TA-2}^B = 0,512+0,415=0,927 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{TA-3}^B = 0,543+0,415=0,958 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

Норматив потерь на отпуск тепла для всех турбин одинаков и равен:

$$P_{TЭЦ}^{\text{Э}} = P_{ВП}^{\text{Э}} = 0,0996 \text{ м}^3/\text{Гкал}.$$

Норматив потерь на вспомогательные и подсобные производства равен:

$$P_{TЭЦ}^{\text{Э}} = P_{ВП}^{\text{Э}} = 0,031 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}.$$

Норматив переданной воды на отпуск тепла равен сумме нормативов воды, переданной с теплом и паром на производство и переданной на подпитку теплосети. Эта норма одинакова для всех турбоагрегатов:

$$H_{TЭЦ}^{T.ПЕР} = H_{TЭЦ}^{T.ПЕР} + H_{T/C}^{T.ПЕР} \quad (7)$$

$$H_{TЭЦ}^{T.ПЕР} = 0,023+5,723=5,746 \text{ м}^3/\text{Гкал}.$$

Норма водоотведения в основных технологических системах равна сумме норм водоотведения в системе охлаждения и ВПУ:

$$H^{\text{Э.СТ}} = H_{ОХ}^{\text{Э.СТ}} + H_{ВМ}^{\text{Э.СТ}} + H_{ВПУ}^{\text{Э.СТ}} \quad (8)$$

$$H^{T.СТ} = H^{T.СТ} + H^{T.СТ} + H^{T.СТ} \quad (9)$$

Норма водоотведения на отпуск электроэнергии определяются для турбоагрегатов и равны:

$$H_{TA-1}^{\text{Э.СТ}} = 1,04+0,002=1,042 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}.$$

$$H_{ТА-2}^{\text{э.СТ}} = 34,83 + 1,042 = 35,872 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{ТА-3}^{\text{э.СТ}} = 37,831 + 1,042 = 38,873 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

Норма водоотведения на отпуск тепла одинакова для всех турбоагрегатов и равна:

$$H^{Т.СТ} = 0,497 + 0,001 = 0,498 \text{ м}^3/\text{Гкал}$$

Норма водоотведения на нужды вспомогательного и подсобного производства одинакова для всех турбоагрегатов и равна:

$$H_{ВП}^{\text{э.СТ}} = 0,747 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}$$

Нормы водоотведения на хозяйственно-питьевые нужды одинаковы для всех турбин и равны:

$$H_{Х-П}^{\text{э.СТ}} = 0,074 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{Х-П}^{\text{э.СТ}} = 0,035 \text{ м}^3/\text{Гкал}$$

Нормы, рассчитанные по направлениям использования воды (технологические, вспомогательные и хозяйственно-питьевые нужды), составляют индивидуальные нормы каждого турбоагрегата.

Нормы потребления свежей воды, потерь и водоотведения в целом по ТЭЦ определяются как средневзвешенные величины индивидуальных норм каждого турбоагрегата.

$$H_{ТЭЦ}^{\text{э.СВ}} = (1,248 \cdot 3,37 + 3,688 \cdot 3,72 + 3,828 \cdot 3,515) / 14,59 = 2,151 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$П_{ТЭЦ}^{\text{э}} = (0,415 \cdot 3,37 + 0,927 \cdot 3,72 + 0,958 \cdot 3,515) / 14,59 =$$



$$=0,563 \text{ м}^3/\text{МВт.ч},$$

$$H_{ТЭЦ}^{\text{э.СТ}} = (1,042 \cdot 3,37 + 35,874 \cdot 3,72 + 38,874 \cdot 3,515) / 14,59 =$$
$$=18,757 \text{ м}^3/\text{МВт.ч}.$$

### 3.2 Определение расчётных расходов воды

На промышленных предприятиях (включая предприятия сельскохозяйственного производства) вода расходуется на технологические нужды производства, хозяйственно-питьевые нужды работающих, а также на пользование ими душами.

Средние объемы водопотребления определяют по видам используемой воды (оборотная, подпиточная) путем умножения соответствующих удельных ее расходов на производительность технологического процесса в принятых единицах величин.

Расчетные расходы воды на собственные хозяйственно-питьевые нужды промпредприятия принимаются равными 10% от потребления воды на технологические нужды.  $Q_{\text{нотр}} = 643561,8 \text{ м}^3/\text{год}$  (по исходным данным)

$$Q_{\text{собст}} = 0,1 \cdot Q_{\text{нотр}} = 0,1 \cdot 643561,8 = 64356,18 \text{ м}^3/\text{год} \quad (10)$$

Общий годовой объем поливомоечных вод  $W_m$ ,  $\text{м}^3$ , стекающих с площади стока, определяют по формуле:

$$Q_m = 10 \cdot t \cdot k \cdot F_m \cdot \psi_m \quad (11)$$

$$Q_m = 10 \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot 0,04968 \cdot 0,5 = 74,52 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Из суммарной площади ТЭЦ, 60% заняты зданиями и другими сооружениями.

$$F_m = 0,6 \cdot F_{m \text{ полн}} = 0,6 \cdot 828 = 496,8 \text{ м}^2 \quad (12)$$

Расчетное количество одновременных наружных пожаров на промышленной зоне принимается в зависимости от занимаемой ими площади.

Исходя из площади промпредприятия принимаем 3 наружных пожара.

Расход воды на тушение 1 пожара должно приниматься для здания требующего наибольшего расхода согласно [1].

Расход составляет 45 л/с при расчетной продолжительности тушения пожара 3ч.

$$Q_{\text{пож}} = 3,6 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 45 = 1458 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (13)$$

Общее водопотребление для ТЭЦ представляет собой сумму расходов технологические нужды производства, хозяйственно-питьевые нужды работающих и расход воды на поливку.

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{собст}} + Q_{\text{полив}} + Q_{\text{потр}} + Q_{\text{пож}} = 64356,18 + 74,52 + 643561,8 + 1458 = 709450,5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (14)$$

### **3.3 Расчет подземного водозабора.**

#### **3.3.1 Определение категории водозабора**

Данный водозабор относится к 1 категории надежности. Допускается снижение подачи воды не более 30% расчетного расхода и на производственные нужды до предела, устанавливаемого аварийным графиком работы предприятий; длительность снижения подачи не должна превышать 3 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных

элементов системы (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов и др.), но не более чем на 10 мин.

### 3.3.2 Обоснование выбора типа водозаборного сооружения

В основе классификации подземных водозаборных сооружений лежит глубина залегания водоносного пласта, в данных условиях 80 м. Мощность водоносного пласта 15 м и коэффициент фильтрации равен 15 м/сут. На основании этих данных проектируем скважину.

Для сооружения скважины используем роторный способ бурения. Суть способа состоит в разрушении пород инструментом, который вращается вокруг оси с одновременным созданием вертикальной нагрузки за счет веса бурового снаряда. Разбуренная порода непрерывно выносится из скважины восходящим потоком рабочего глинистого раствора, который подается по бурильным трубам грязевым насосом.

### 3.3.3 Расчет скважины

Расчет скважины начинается с определения притока воды к скважине – дебита и определяется по формуле

$$Q_c = \frac{2,73 \cdot K_f \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (15)$$

где  $K_f$  – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;

$m$  – мощность водоносного пласта, м;

$R$  и  $r$  – соответственно радиус влияния депрессионной воронки и радиус скважины, м.

$S$  – понижение принимается в размере 12% от  $m$ , т.е.  $S = 0,12 \cdot 35 = 4,2$  м.

$$Q_c = \frac{2,73 \cdot 15 \cdot 35 \cdot 4,2}{\lg \frac{250}{0,2}} = 1943,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Теперь определим диаметр фильтра по формуле

$$D_\phi = \frac{Q_c}{\pi \cdot l_\phi \cdot V_\phi}, \quad (16)$$

где  $Q_c$  – подача насоса,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$l_\phi$  – длина рабочей водоприемной части фильтра, м, принимается в пластах с мощностью более 10 м по формуле

$$l_\phi = (0,5 \div 0,8) \text{ м}, \quad (17)$$

$$l_\phi = (0,5 \div 0,8) 35 = 0,6 \cdot 35 = 21 \text{ м.}$$

$V_\phi$  – скорость фильтрации,  $\text{м}^3/\text{сут}$  определяется по формуле

$$V_\phi = 65 \cdot \sqrt[3]{K_\phi}, \quad (18)$$

$$V_\phi = 65 \cdot \sqrt[3]{15} = 160,3 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

$$D_\phi = \frac{1943,7}{3,14 \cdot 21 \cdot 160,3} = 0,20 \text{ м.}$$

Диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб определяется по формуле

$$D_o = D_\phi + 50, \quad (19)$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр фильтра, мм.

$$D_3 = 200 + 50 = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м.}$$

Внутренний диаметр направляющей трубы равен:

$$D_H = D_3 + 100, \tag{20}$$

где  $D_3$  – диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб, мм.

$$D_H = 250 + 100 = 350 \text{ мм} = 0,35 \text{ м.}$$

Диаметр забоя:

$$D_3 = D_{\phi}/4, \tag{21}$$

$$D_3 = 0,2/4 = 0,05 \text{ м.}$$

Тип фильтра и область его применения представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Тип фильтра и область его применения

Тип фильтра	Материал для изготовления	Особенности конструкции	Область применения
С ребристой водоприемной поверхностью	Фильтровые элементы колец или сегментов из пластмасс. Стержни $\phi 10$ мм из стеклопластика	Скважность каркаса до 20...25%. Ребристость в большинстве случаев продольная. Шаг ребер подбирается в зависимости от	Крупнозернистые, среднезернистые и мелкозернистые пески. Подземные воды характеризуются коррозионными

		состава каптируемых пород.	свойствами.
--	--	----------------------------	-------------

### 3.3.4 Гидрогеологический расчет скважины

Гидрогеологические расчеты водозаборных сооружений производят на основании законов движения подземных вод с учетом гидравлических условий состояния подземного потока (напорный и безнапорный), при той или иной степени схематизации гидрогеологической обстановки. Схема притока воды в одиночной скважине изображена на рисунке 1.

Обычно для расчетов выделяют три основные схемы водоносных пластов: неограниченные по площади распространения, изолированные и слоистые горизонты, к которым относятся артезианские бассейны; полуограниченные пласты и пласты – полосы – долины рек; ограниченные по площади распространения пласты. Кроме того, учитывают также расположение водоприемной части скважины в пласте, намеченном к эксплуатации: водоприемная часть вскрывает пласт на полную мощность (совершенная скважина) или не на полную (несовершенная скважина).

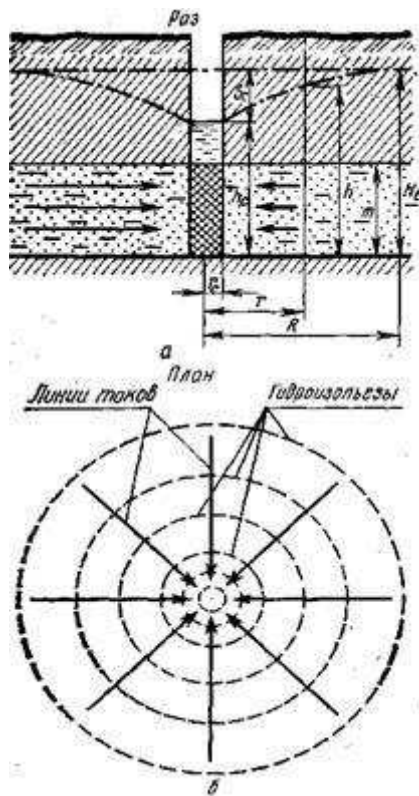


Рисунок 1 – Схема притока воды в одиночной скважине

В каждой одиночно работающей скважине расположенной в напорном пласте мощностью  $M$ , через любую цилиндрическую поверхность  $\Omega r$  пласта, очерченную вокруг скважины радиусом  $r$ , при коэффициенте фильтрации пород пласта  $K_f$  и диаметре фильтра скважины  $D_c$  в условиях установившегося движения расход воды будет одинаковым:

$$Q_c = \Omega_r \cdot v_r = \Omega_r \cdot k \cdot i_r = -2\pi r M k \frac{dh}{dr}, \quad (22)$$

где  $i_r$  – гидравлический градиент потока на расстоянии  $r$  от оси скважины,

$$i_r = - \frac{dh}{dr}.$$

В результате интегрирования этого уравнения получаем известное выражение Дюпюи, связывающее параметры скважины и ее дебит с понижением уровня  $s$  в скважине:

$$Q_c = \frac{2,73 \cdot 15 \cdot 35 \cdot 4,2}{\lg \frac{250}{0,2}} = 1943,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

А также уравнение кривой напоров (напорной линии):

$$h_r = H_0 - \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot k_{\phi} \cdot m} \ln \frac{R}{r}, \quad (23)$$

$$h_r = 37,1 - \frac{1943,7}{2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 35} \ln \frac{250}{0,2} = 35,27 \text{ м.}$$

Определяем количество скважин:

$$n = \frac{Q_{\text{общ}}}{Q_c}, \quad (24)$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий суточный расход воды  $n$  на технологические нужды, собственные нужды и обмыв оборудования,  $\text{м}^3/\text{сут.}$

$$n = \frac{1005}{1943,7} = 0,52 \text{ шт} \approx 1 \text{ шт} + 1 \text{ резервная.}$$

### 3.3.6 Определение уровней воды в скважине

Отметка статического горизонта воды составляет -2,500 м.

Определяем расчётную отметку динамических уровней воды в скважинах, м:

$$Z_{\text{расч.дин}} = Z_{\text{стат.ур}} - S_i, \quad (25)$$



где  $Z_{\text{стат.ур}}$  – отметка статического уровня воды в скважине, м;

$S_i$  – понижение уровня воды в  $i$ -ой скважине, м.

$$Z_{\text{расч.дин1}} = -2,5 - 4,2 = -6,7 \text{ м,}$$

$$Z_{\text{расч.дин2}} = -2,5 - 4,83 = -7,33 \text{ м,}$$

Понижение уровня воды в  $j$ -ой скважине:

$$S_j = S_i \cdot k, \tag{26}$$

где  $S_i$  – понижение уровня в  $i$ -ой скважине, м;

$k$  – величина, показывающая увеличение понижения уровня.

$$S_1 = S = 4,2 \text{ м,}$$

$$S_2 = 4,2 \cdot 1,15 = 4,83 \text{ м,}$$

Срезка уровня воды в скважине  $n+1$  при откачке воды со скважины  $n$  с понижением уровня  $S_n$ :

$$t_{ij} = \frac{3}{7} \cdot S_i, \tag{27}$$

где  $t_{ij}$  – срезка в  $j$ -ой скважине от воздействия  $i$ -ой скважины на расстоянии 50 м, м.

$$t_{1,2} = \frac{3}{7} \cdot 4,2 = 1,8 \text{ м,}$$

$$t_{2,1} = \frac{3}{7} \cdot 4,83 = 2,07 \text{ м,}$$

Дебит скважины с учётом срезки:

$$Q'_n = Q_n \cdot \left(1 - \frac{t_{n,n} + 1}{S_n}\right), \quad (28)$$

$$Q'_1 = 80,99 \cdot \left(1 - \frac{2,8}{4,2}\right) = 26,99 \text{ м}^3/\text{час,}$$

$$Q'_2 = 80,99 \cdot \left(1 - \frac{3,07}{4,83}\right) = 29,51 \text{ м}^3/\text{час,}$$

### 3.3.7 Подбор основного и вспомогательного оборудования

Каждое водозаборное сооружение оснащено основным и вспомогательным оборудованием.

К основному оборудованию относятся: насосные агрегаты, затворы, водоводы – самотечные или сифонные, всасывающие и напорные, а также, запорная арматура.

К вспомогательному оборудованию относятся гидроэлеваторы для откачки осадка из водоприёмных камер; компрессоры, вакуум–насосы, дренажные насосы; грузоподъёмные устройства и механизмы; устройства для промывки фильтра.

### 3.3.8 Водоподъёмные установки и регулирующие ёмкости

Для автономных систем водоснабжения следует применять автоматизированные водоподъемные устройства, включающие в себя насос, регулирующую ёмкость и приборы автоматического регулирования, при которых насос периодически подаёт или прекращает подачу воды в

регулирующую ёмкость в зависимости от уровня воды в безнапорном (открытом) баке или давления в напорном гидропневматическом баке.

Работа водоподъёмной установки характеризуется частотой включения насоса в единицу времени, зависящей от регулирующего объёма бака. Безнапорный бак размещается в высшей точке системы на отметке, обеспечивающей необходимый напор в системе. В напорном гидропневмобаке необходимый напор создаётся давлением сжатого воздуха, передающимся на воду через эластичную мембрану.

Тип водоподъёмного оборудования зависит от вида водозаборного сооружения, глубины водоносного горизонта, дебита водоисточника, а также условий водопотребления. Для автономных систем водоснабжения могут применяться насосы различных типов: консольные, консольные многоблочные, вихревые, погружные, бытовые, а также комплектные водоподъёмные устройства. Насосы могут размещаться в колодце или подземной камере.

Для подъёма из водозаборных скважин, как правило, применяются погружные насосы. Работу насосов следует применять в повторнократковременном режиме совместно с регулирующей ёмкостью. Производительность насосов при этом должна составлять не менее максимального часового расхода воды.

Полный напор насосной установки, м:

$$H_p = H_{\text{geom}} + \sum H_{\text{total}} + H_f, \quad (29)$$

где  $H_{\text{geom}}$  – геометрическая высота подъёма воды от динамического уровня воды в водозаборном сооружении до расчётной точки (наиболее высоко расположенного прибора), 46 м;

$\sum H_{\text{total}}$  – потери напора при движении воды до расчётной точки, м;

$H_f$  – необходимый свободный напор в расчётной точке, 4 м.

Потери напора при движении воды до расчётной точки, м:

$$\sum H_{\text{total}} = H_{\text{geom}} - (H_{\text{отмостки}} + H_{\text{пола}} + 0,5), \quad (30)$$

где  $H_{\text{отмостки}}$  – высота отмостки над уровнем земли, 0,5 м;

$H_{\text{пола}}$  – толщина пола, 0,35 м;

0,5 – высота обсадной трубы над уровнем пола, м.

$$\sum H_{\text{total}} = 46 - (0,5 + 0,35 + 0,5) = 1,35 \text{ м.}$$

Итак, полный напор насосной установки, м:

$$H_p = 46 + 1,35 + 4 = 51,35 \text{ м.}$$

### 3.3.9 Насосное оборудование

Параметры насосного оборудования, которые соответствовали бы требованиям надёжности подачи воды и работы сооружения в целом, находят методом подбора по результатам расчётов.

С учётом того, что расходный режим и водохозяйственный баланс по источнику с прогнозом на 15 лет, подбираем насос большей подачи, чем в расчётах.

В качестве насоса принимаем насос типа ЭЦВ8-65-70. Насос устанавливается в скважине ниже уровня воды и соединяется с сетью с помощью труб Ø150 мм. Трубы соединяются с помощью фланцев. В таблице 3 приведены технические характеристики насоса ЭЦВ8-65-70. Габаритные размеры насоса приведены ниже в таблице 2. Насос ЭЦВ8-65-70 представлен на рисунке 2.

Таблица 3 – Технические характеристики насоса марки ЭЦВ8-65-70

Подача насоса, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Потребляемый ток, А	Мощность электродвигателя, кВт	Диаметр, мм	Масса, кг
65	70	49	22	186	115

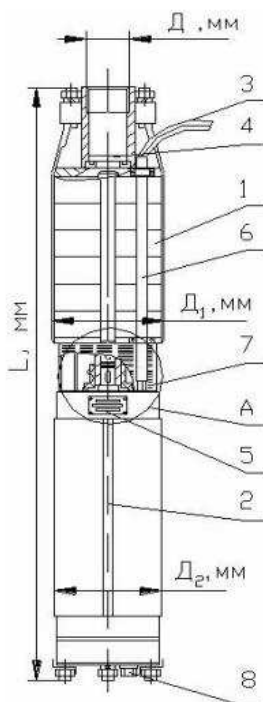


Рисунок 2 – Насос типа ЭЦВ

1 – насосная часть; 2 – электродвигатель; 3 – провода токопроводящие; 4 – клапан; 5 – табличка; 6 – кожух защитный; 7 – сетка защитная; 8 – сливная пробка

### 3.3.10 Грузоподъемное оборудование

Для монтажа и демонтажа оборудования скважины применяем грузоподъемное устройство. Монтаж и демонтаж скважинного насоса предусматривается через люк павильона.

Для этого используют различные типы грузоподъемных механизмов (ручные тали, кран–балки, козловые и мостовые краны), которые выбираются с учетом размеров сооружений, компоновки технологического оборудования, его размеров и максимальной массы поднимаемого элемента.

Для подъема и опускания насоса в скважину применяем электрическую таль марки Т 050 грузоподъемностью 0,5 т. Она состоит из самоходной тележки, перемещающейся по подвесному монорельсу, и тали. Характеристики тали приведены ниже в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики тали Т 050

Высота подъема, м	Размеры тали, мм			Установленная мощность, кВт	Радиус поворота пути, м	Наибольшая нагрузка на колесо, кН	Масса тали, кг
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>				
6,3	710	195	138	0,55+0,12	прямой	2,3	65

### 3.3.11 Строеение павильона и устья скважины

Павильон устраивают над водозаборной скважиной. Он предназначен для размещения оборудования скважины, предотвращения несанкционированного доступа к скважине и оборудованию, защиты от неблагоприятных погодных условий.

Павильон устанавливается на подготовленном основании, выровненном и укрепленном слоем щебня. Вокруг здания устраивается отмостка в виде глиняного замка.

Высота павильона состоит из следующих составляющих:

$$H_{\text{п}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + 0,3, \quad (31)$$

где  $h_1$  – высота монорельса грузоподъёмного оборудования; 0,5 м;

$h_2$  – минимальное расстояние от тали до крюка 0,8 м;

$h_3$  – высота строповки груза, 0,5 м;

$h_4$  – высота груза, 1,735 м длина насоса;

$h_5$  – минимальное расстояние от груза до пола, 0,5 м;

0,3 м – расстояние от монорельса до перекрытия.

$$H_{\text{п}} = 0,5 + 0,8 + 0,5 + 1,735 + 0,5 + 0,3 = 4,3 \text{ м.}$$

Высота верхнего строения определяется с учётом строительного высотного шага, равного 0,3м. Исходя из этого, высота павильона будет на  $H_{\text{п}} = 4,3 \approx 4,5$  м.

### 3.3.12 Выбор арматуры

В зависимости от выбранной марки насоса производится выбор запорной арматуры. Согласно диаметру напорного трубопровода, принимаем задвижку марки ЗАО “САРАТОВЭНЕРГОМАШКОМПЛЕКТ” ЗС 150.16.4310. Технические характеристики задвижки приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики задвижки марки ЗС 150.16.4310

Диаметр, мм	Строительная длина, мм	Масса, кг	Температура рабочей среды, °С	Материал корпуса
150	403	70	до +425	сталь

Обратный клапан исключает обратный поток воды в системе и является обязательным элементом в системе водоснабжения. Выбираем клапан марки ЗАО “САРАТОВЭНЕРГОМАШКОМПЛЕКТ” КО 150.16.3312. Технические характеристики клапана приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики клапана марки КО 150.16.3312

Ду, мм	Н, мм	L, мм	Давление рабочей среды, МПа	Температура рабочей среды, °С	Масса, кг
150	275	480	1,6	до + 425	74

Манометр подбирается по диапазону давлений в системе и служит для её гидравлической настройки и визуального контролю за текущим давлением в системе водоснабжения. Выбираем манометр марки ТМ-510Р.00.(0–0,6Мра)G1/2.150С.1,5. Технические характеристики манометра приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики манометра ТМ-510Р

D	A	b(b <sub>1</sub> )	H	SW	G	b <sub>2</sub>
100	14	36,5	59	22	G1/2	50

Для гидроизоляции скважины от сточных и талых вод, а также для изоляции от посторонних предметов и промерзания скважины, устанавливаем кессон. Скважинный кессон – это цилиндрический или квадратный короб, установленный над скважиной. Кессон – это большая водонепроницаемая бочка с горловиной. Выбираем марку кессона POLEXKESSON 12/25. Габаритные размеры – 2000 × 3000 мм.

### 3.4 Зоны санитарной охраны

Зона санитарной охраны подземных источников водоснабжения (водоохранная зона) представляет собой специально выделенную территорию, примыкающую к скважинам (шахтным колодцам и т.п.), на которой устанавливается специальный режим хозяйственной или иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения (биологического, химического и др.), заиления и истощения водных объектов, а также сохранения объектов животного и растительного мира. Зона санитарной охраны состоит из трёх поясов. Границы зон санитарной охраны назначаются в соответствии с [37].

В каждом из поясов устанавливается свой особый режим, соблюдение которого, является частью комплекса природоохранных мер по улучшению



гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий.

Первый пояс – строгого режима – предотвращает случайное загрязнение подземных вод непосредственно в водозаборных сооружениях и охватывает территорию, на которой расположены водоприемные сооружения, водозаборные колодцы, а также связанные с ними насосные станции, установки для обработки воды в резервуаре. Территория первого пояса устанавливается с учетом рельефа местности, направления грунтового потока, защищенности водоносных горизонтов от загрязнения с поверхности и т.п. Запрещается проживание и временное нахождение лиц, не связанных с работой на водопроводных сооружениях, а также какое бы то ни было строительство, за исключением связанного с техническими нуждами самого водопровода. Для надежно защищенных напорных горизонтов подземных вод границы первого пояса устанавливаются на расстоянии не меньше 30 м от водозабора. В границе первого пояса инфильтрационных водозаборов следует включать прибрежную территорию между водозабором и поверхностными источниками водоснабжения, если расстояние между ними меньше 150 м.

Границу второго пояса (зона ограничения), который охватывает территорию, непосредственно окружающую источники водоснабжения и их притоки, зоны подземного источника водоснабжения, устанавливаются расчетом.

Во втором поясе запрещается такое использование территории или источников водоснабжения, которое может вызвать качественное или количественное ухудшение последних. В расчете учитывают время продвижения микробного загрязнения воды до водозабора, составляющее в зависимости от климатических районов и защищенности подземных вод от 100 до 400 сут.

Граница третьего пояса ЗСО (м), предназначенного для защиты водоносного пласта от химических загрязнений, также определяется

гидродинамическими расчётами. При этом учитывают время продвижения химического загрязнения воды до водозабора, которое должно быть больше принятой продолжительности эксплуатации водозабора. Обычный срок эксплуатации водозаборного сооружения – 10 лет.

Границу второго и третьего поясов зоны санитарной охраны устанавливают из условия предупреждения возможности поступления в водоносный горизонт на участке водозабора химических и микробиологических загрязнений.

Для обеспечения необходимой санитарной защиты данного водозабора предусматриваем создание трех поясов зоны санитарной охраны. Первый пояс ЗСО (зона строгого режима) составляет 30 м от границ помещений водозабора. В этом поясе запрещаются все виды деятельности, сопровождающиеся токсичными выбросами.

Расход естественного потока:

$$q = K_{\phi} \cdot m \cdot l, \quad (32)$$

где  $m$  – средняя мощность зоны активной фильтрации водоносного горизонта на участке водозабора, 35 м;

$i$  – уклон подземного потока – 0,004;

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации водовмещающих пород, 15 м/сут.

$$q = 15 \cdot 35 \cdot 0,004 = 2,1 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Аналитическая координата  $X_B$  водораздельной точки:

$$X_B = X_o \sqrt{1 - \frac{Q}{\pi X_o \cdot q}}, \quad (33)$$

где  $X_0$  – расстояние от реки до водозабора;

$Q_c$  – дебит водозабора;

$q$  – удельный расход потока подземных вод.

$$X_B = 1400 \sqrt{1 - \frac{5831,1}{3,14 \cdot 1400 \cdot 2,1}} = 869,8 \text{ м.}$$

Погрешности отклонения:

$$X_B^1 = \frac{X_B}{X_0}, \quad (34)$$

$$X_B^1 = \frac{869,8}{1400} = 0,62.$$

Общий радиус границы второго пояса, м:

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q \cdot T_M}{\pi \cdot m \cdot n}}, \quad (35)$$

где  $T_M$  – время микробного продвижения, 200 сут.

$$R_2 = \sqrt{\frac{5831,1 \cdot 200}{3,14 \cdot 35 \cdot 0,04}} = 515,06 \text{ м.}$$

Погрешность отклонения:

$$T_1 = \frac{q \cdot T_M}{X_0 \cdot m \cdot n}, \quad (36)$$

$$T_1 = \frac{2,1 \cdot 200}{1400 \cdot 35 \cdot 0,04} = 0,21.$$

Расстояние вверх по потоку движения подземных вод:

$$R = R_q + \Delta R, \quad (37)$$

$$R = 300 + 952 = 1252 \text{ м.}$$

$$\Delta R = \Delta R^1 \cdot X_0, \quad (38)$$

где  $\Delta R^1$  – коэффициент движения подземных вод.

$$\Delta R = 0,68 \cdot 1400 = 952 \text{ м.}$$

Расстояние, преодолеваемое частицами воды при движении со скоростью бытового потока  $q$ :

$$R_q = \frac{T_M \cdot q}{m \cdot n}, \quad (39)$$

$$R_q = \frac{200 \cdot 2,1}{35 \cdot 0,04} = 300 \text{ м.}$$

Расстояние вниз по потоку:

$$r = r^1 \cdot X_0, \quad (40)$$

где  $r^1$  – расстояние вниз по потоку, м.

$$r = 0,6 \cdot 1400 = 840 \text{ м.}$$

Ширина ЗСО:

$$d = \frac{2 \cdot Q \cdot T_M}{\pi \cdot m \cdot n \cdot L}, \quad (41)$$

$$d = \frac{2 \cdot 5831,1 \cdot 200}{3,14 \cdot 35 \cdot 0,04 \cdot 2092} = 253,6 \text{ м.}$$

$$L = R + r, \quad (42)$$

$$L = 1252 + 840 = 2092 \text{ м.}$$

Общая ширина II пояса:  $2d = 507,2 \text{ м.}$

Таким образом, размеры II пояса ЗСО данного водозабора следующие:

- общий радиус ( $R_2$ ) = 515,06 м;
- вверх по потоку ( $R$ ) = 1252 м;
- вниз по потоку ( $r$ ) = 840 м;
- общая ширина ( $2d$ ) = 507,2 м.

Размеры третьего пояса ЗСО:

$$R_3 = \sqrt{\frac{Q \cdot T_x}{\pi \cdot m \cdot n}}, \quad (43)$$

где  $T_x$  – расчётный срок эксплуатации водозабора, 10 лет = 3650 сут.

$$R_3 = \sqrt{\frac{5831,1 \cdot 3650}{3,14 \cdot 35 \cdot 0,04}} = 2200,4 \text{ м.}$$

### 3.5 Расчет напорного механического фильтра

Расчет напорных фильтров выполняется исходя из производительности, учитывающей расход очищаемой воды и времени работы фильтра.

Площадь напорного фильтра определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{T \cdot V - 3,6 \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3) - n \cdot t_4 \cdot V} \quad (44)$$

где  $Q_{сут}$  - производительность фильтра в сутки, м<sup>3</sup>/сутки;

$T$  - продолжительность работы станции в течении суток, ч;

$v$  - расчетная скорость фильтрования, м/ч,

$w_1$  и  $t_1$  - интенсивность, л/сек·м<sup>2</sup> и продолжительность, ч первоначального взрыхления фильтрующей загрузки;

$w_2$  и  $t_2$  - интенсивность подачи воды, л/сек·м<sup>2</sup> и продолжительность, ч воздушной промывки;

$w_3$  и  $t_3$  - интенсивность, л/сек·м<sup>2</sup> и продолжительность отмывки, ч ;

$t_4$  - время простоя фильтра из-за промывки в ч.

$$F = \frac{1943,7}{24 \cdot 20 - 3,6 \cdot 2(9,8 \cdot 0,017 + 4,9 \cdot 0,083 + 9,8 \cdot 0,034) - 2 \cdot 0,33 \cdot 20} = 4,2 \text{ м}^2$$

Число фильтров определяется:

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F},$$

где  $F$  – суммарная площадь фильтров, м<sup>2</sup>

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{4,2} = 1,02 \approx 2 \text{ шт}$$

Площадь фильтра:

$$f = \frac{F}{N} = \frac{4,2}{2} = 2,1 \text{ м}^2$$

Принимаем сеть рабочих фильтров из одного рабочего и одного резервного, типа ФИПр-2,6-0,6. Напорный вертикальный фильтр имеет  $D=2,6\text{м}$ . Площадь песчаной загрузки фильтра  $f = 5,31 \text{ м}^2$ . Интенсивность промывки  $W=8 \text{ л/сек}\cdot\text{м}^2$ .

Общий расход воды на промывку одного фильтра:

$$q_{\text{пр}} = f \cdot W \tag{45}$$

$$q_{\text{пр}} = 5,31 \cdot 8 = 42,48 \text{ л / сек} = 0,042 \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Диаметр стального коллектора распределительной системы напорного фильтра при скорости входа в него промывной воды  $v_{\text{кол}} = 1,07 \text{ л/сек}$  будет  $d_{\text{кол}}=250 \text{ мм}$ .

С каждой стороны коллектора размещается по 6-7 ответвлений в виде горизонтальных стальных труб с наружным диаметром 60 мм, привариваемых к коллектору под прямым углом на взаимных расстояниях

$$N = \frac{3}{12} = 0,25 \text{ м}$$

На штуцерах ответвлений укрепляются фарфоровые щелевые дренажные колпачки ВТИ-5. Необходимая суммарная площадь щелей в дренажных колпачках должна быть 0,8-1% рабочей площади фильтра:

$$\sum \text{щ} = 0,008 \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\sum \text{щ} = 0,008 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,6^2}{4} = 0,042 \text{ м}^2$$

Площадь щелей на каждом колпачке ВТИ-5 составляет  $f_{щ}=192 \text{ мм}^2=0,000192 \text{ м}^2$ .

Общее число колпачков на ответвлениях распределительной системы определяется по формуле:

$$n = \frac{\sum \text{щ}}{f_{щ}} \quad (46)$$

$$n = \frac{0,042}{0,000192} = 219 \text{ шт}$$

Так как фильтр в сечении имеет круглое сечение, то ответвления будут разной длины, а именно: 0,5; 0,77; 0,93; 1,06; 1,12; 1,17 м.

Суммарная длина всех ответвлений распределительной системы фильтра  $D=2,6$  м составит

$$L = 4 \cdot (0,5 + 0,77 + 0,93 + 1,06 + 1,12 + 1,17) = 22,2 \text{ м} \quad (47)$$

Среднее расстояние между дренажными колпачками определим по формуле



$$e = \frac{L}{n} \quad (48)$$

$$e = \frac{22,2}{219} = 101 \text{ мм}$$

На наиболее длинных ответвлениях (в центре фильтра)  $l = 1,17 \text{ м}$  устанавливается по 15 колпачков, а на наиболее коротких ответвлениях  $l = 0,5 \text{ м}$  - 8 колпачков.

Количество колпачков на  $1 \text{ м}^2$  фильтра составляет:

$$n_k = \frac{n}{f}, \quad (49)$$

где  $n_k$  – количество колпачков.

$$n_k = \frac{219}{5,31} = 41$$

Количество промывной воды, приходящейся на один колпачок:

$$Q_{\text{колп}} = \frac{0,042}{219} = 0,0002 \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Скорость прохода промывной воды сквозь щели колпачка определяется по формуле:

$$V_{\text{щ}} = \frac{Q_{\text{колп}}}{f_{\text{щ}}}, \quad (50)$$

где  $V_{щ}$  - скорость прохода промывочной воды сквозь щели колпачка

$$V_{щ} = \frac{0,0002}{0,000192} = 1,04$$

Расход промывной воды, приходящейся на наиболее длинное ответвление с числом колпачков  $n = 15$  вычислим по формуле:

$$q_{\text{дотв}} = n \cdot Q_{\text{колп}} \quad (51)$$

$$q_{\text{дотв}} = 15 \cdot 0,0002 = 0,003 \text{ м}^3$$

При допустимой скорости  $v = 1,8\text{-}2\text{ м/сек}$  диаметр ответвления будет 50 мм, что отвечает скорости  $v_{\text{отв}} = 1,41 \text{ м/сек}$ .

Сопротивление в щелях дренажных колпачков распределительной системы круглого в плане фильтра, состоящей из центрального коллектора и боковых распределительных труб неравной длины вычисляется по формуле:

$$H = \frac{V_{щ}^2}{2gm^2} \quad (52)$$

где  $V_{щ}$  - скорость движения воды в щелях колпачка;

$m$  - коэффициент расхода, равный 0,5.

Так как  $V_{щ} = 1,05 \text{ м/сек}$ , то

$$H = \frac{1,05^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,5^2} = 0,5 \text{ м}$$

На наиболее длинном боковом ответвлении размещено 15 щелевых колпачков, тогда:

$$\sum h = 15 \cdot H \quad (53)$$

$$\sum h = 15 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ м}$$

Режим промывки напорных фильтров следующий: взрыхление загрузки (с интенсивностью 6-8 л/сек м<sup>2</sup>) 1 мин, воздушная промывка 3-4 л/сек м<sup>2</sup> воды и 20-25 л/сек м<sup>2</sup> воздуха) 5 мин, отмывка водой (6-8 л/сек м<sup>2</sup>) 2мин.

Отвод промывной воды с напорного фильтра производится при помощи водосборной колонки; диаметр воронки должен быть  $d_v = (0,2-0,25) D$  (где  $D$  – диаметр фильтра). Принимаем  $d_v = 600\text{мм}$ .

Степень очистки механического блока фильтров дана в таблице 8.

Таблица 8– Степень очистки механического блока фильтров

Наименование	Процент очистки	Исходная вода, мг/л	После механической очистки, мг/л	
			I Фильтр	II Фильтр
Взвешенные вещества	93%	40,9	2,86	0,2
Окисленное железо		0,006	0,00042	0,00003
Мутность		2,36	0,16	0,01
Цветность		9,165	0,64	0,044

### 3.6 Расчет напорного сорбционного фильтра

В качестве напорного фильтра применяется фильтр с сорбентом АС-270л. Фильтр сорбционный имеют корпус с положительным санитарно-эпидемиологическим заключением. Они выполнены из композитных полимерных материалов пищевого класса.

Корпус диаметром 2,6 м изготовлен из углеродистой стали с внешним и внутренним защитным покрытием.

Расчет напорных фильтров выполняется исходя из производительности, учитывающей расход очищаемой воды и времени работы фильтра.

Условия применения:

- водородный показатель (рН) воды: минимум 5,8;

- скорость фильтрации:

в режиме сервиса: 10 – 20 м/ ч;

в режиме обратной промывки при расширении на 30 - 35 %: 18–20м/ ч;

- интенсивность промывки: 9,2 – 9,8 л с/ м<sup>2</sup>;

- высота засыпки: 40 – 100 см.

Площадь напорного фильтра определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{T \cdot V - 3,6 \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3) - n \cdot t_4 \cdot V} \quad (54)$$

$$F = \frac{1943,7}{24 \cdot 20 - 3,6 \cdot 2(9,8 \cdot 0,017 + 4,9 \cdot 0,083 + 9,8 \cdot 0,034) - 2 \cdot 0,33 \cdot 20} = 4,2 \text{ м}^2$$

Число фильтров:

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F},$$

где F – суммарная площадь фильтров, м<sup>2</sup>

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{4,2} \approx 1,02 \approx 2 \text{ шт}$$

Площадь фильтра:

$$f = \frac{F}{N} = \frac{4,2}{2} = 2,1 \text{ м}^2$$

Принимаем сеть рабочих фильтров из одного рабочего и одного резервного, типа ФИПр-2,6-0,6. Напорный вертикальный фильтр имеет  $D=2,6\text{м}$ . Площадь песчаной загрузки фильтра  $f = 5,31 \text{ м}^2$ . Интенсивность промывки  $W=9,8 \text{ л/сек}\cdot\text{м}^2$ .

Общий расход воды на промывку одного фильтра:

$$q_{\text{пр}} = 5,31 \cdot 9,8 = 52,04 \text{ л / сек} = 0,05 \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Диаметр стального коллектора распределительной системы напорного фильтра при скорости входа в него промывной воды  $v_{\text{кол}}=1,07 \text{ л/с}$  будет  $d_{\text{кол}}=250 \text{ мм}$ .

С каждой стороны коллектора размещается по 6 -7 ответвлений в виде горизонтальных стальных труб с наружным диаметром 60 мм, привариваемых к коллектору под прямым углом на взаимных расстояниях

$$N = \frac{3}{12} = 0,25 \text{ м}$$

На штуцерах ответвлений укрепляются фарфоровые щелевые дренажные колпачки ВТИ-5. Необходимая суммарная площадь щелей в дренажных колпачках должна быть 0,8-1% рабочей площади фильтра:

$$\sum \text{щ} = 0,008 \cdot 2,35 = 0,018 \text{ м}^2$$

Площадь щелей на каждом колпачке ВТИ-5 составляет  $f_{\text{щ}}=192 \text{ мм}^2=0,000192 \text{ м}^2$ .

Общее число колпачков на ответвлениях распределительной системы

$$n = \frac{0,018}{0,000192} = 98 \text{ шт}$$

Так как фильтр в сечении имеет круглое сечение, то ответвления будут разной длины, а именно: : 0,5; 0,77; 0,93; 1,06; 1,12; 1,17 м.

Суммарная длина всех ответвлений распределительной системы фильтра  $D=2,6 \text{ м}$  составит

$$L = 4 \cdot (0,5 + 0,77 + 0,93 + 1,06 + 1,12 + 1,17) = 22,2 \text{ м} \quad (55)$$

Среднее расстояние между дренажными колпачками определим по формуле:

$$e = \frac{22,2}{98} = 226 \text{ мм}$$

На наиболее длинных ответвлениях (в центре фильтра)  $l=1,17 \text{ м}$  устанавливается по 15 колпачков, а на наиболее коротких ответвлениях  $l=0,5 \text{ м}$  - 8 колпачков.

Количество колпачков на  $1 \text{ м}^2$  фильтра составляет:

$$n_k = \frac{98}{5,31} = 19$$

Количество промывной воды, приходящейся на один колпачок:

$$Q_{\text{колп}} = \frac{0,018}{98} = 0,002 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Скорость прохода промывной воды сквозь щели колпачка определяется по формуле:

$$V_{\text{щ}} = \frac{0,0002}{0,000192} = 1,05$$

Расход промывной воды, приходящейся на наиболее длинное ответвление с числом колпачков  $n=15$  вычислим по формуле:

$$q_{\text{отв}} = 15 \cdot 0,0002 = 0,03 \text{ м}^3$$

При допустимой скорости  $v = 1,8 - 2$  м/с диаметр ответвления будет 50 мм, что отвечает скорости  $v_{\text{д отв}} = 1,41$  м/с.

Сопротивление в щелях дренажных колпачков распределительной системы круглого в плане фильтра, состоящей из центрального коллектора и боковых распределительных труб неравной длины вычисляется по формуле

Так как  $V_{\text{щ}} = 1,05$  м/с, то

$$H = \frac{1,05^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,5^2} = 0,225 \text{ м}$$

На наиболее длинном боковом ответвлении размещено 15 щелевых колпачков, тогда:

$$\sum h = 15 \cdot 0,225 = 3,38 \text{ м}$$

Режим промывки напорных фильтров следующий: взрыхление загрузки (с интенсивностью 6-8 л/с·м<sup>2</sup>) 1 мин, воздушная промывка 3-4 л/с·м<sup>2</sup> воды и 20-25 л/с·м<sup>2</sup> воздуха) 5 мин, отмывка водой (6-8 л/с·м<sup>2</sup>) 2 мин.

Отвод промывной воды с напорного фильтра производится при помощи водосборной колонки ; диаметр воронки должен быть  $d_v=(0.2-0,25) D$  (где  $D$  – диаметр фильтра). Принимаем  $d_v=600\text{мм}$ .

### 3.7 Расчет ионитовой установки

Ионитовый способ можно рекомендовать для обессоливания вод с общим содержанием солей не более 3000 мг/л при наличии взвеси не более 8 мг/л и цветности не выше 30°

В случаях, когда не требуется глубокого обессоливания воды, а нужно довести ее солесодержание до нормы, предъявляемой к питьевой воде, т.е. только опреснить воду, применяют ионитовые установки с одной ступенью катионитовых и анионитовых фильтров.

При одноступенчатой схеме вода пропускается через Н-катионитовый фильтр, загруженный сильнокислым катионитом КУ-2, сорбирующим катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$  и замещающим их ионами водорода. Солесодержание воды снижается на величину, эквивалентную щелочности исходной воды, которая соответствует содержанию в ней бикарбонатных ионов.

Затем вода проходит через фильтры с загрузкой из АВ 17-8 и АН 31, в которых сульфатные  $\text{SO}_3^{2-}$  и хлоридные  $\text{Cl}^-$  ионы обмениваются на ионы  $\text{OH}^-$  анионита.

Между катионитовыми и анионитовыми фильтрами или в конце установки размещают дегазатор для удаления свободной  $\text{CO}_2$ .



Катионит регенерирует 5% - ным раствором соляной или серной кислоты, а анионит – 4%- ным раствором кальцированной соды.

Применение для регенерации Н - катионитовых фильтров серной кислоты создает опасность загипсовывания катионита. Поэтому рекомендуется ступенчатая регенерация с постепенным увеличением концентрации раствора  $H_2SO_4$  с 1 до 5%/ Для сульфогля 30% регенерационного раствора подается с концентрацией 1%, затем 30% раствора с концентрацией 2% и, наконец, 40% раствора с концентрацией 4%; для катионитов КУ-1 и КУ-2 30% регенерационного раствора с концентрацией 1%, затем 30% раствора с концентрацией 3% и, наконец, 40% раствора с концентрацией 5%.

Одноступенчатая схема позволяет первоначальное солесодержание воды снизить с 2000 до 10 мг/л, однако анион кремниевой кислоты  $SiO_3^{2-}$  практически остается не устранённым.

При двухступенчатой схеме соленую воду пропускают сначала через Н-катионитовые фильтры I ступени с загрузкой слабоосновным анионитом: АН-2ФН, задерживающим ионы -сильных кислот (сульфаты, хлориды, нитраты). Далее вода проходит через Н-катионитовые фильтры II ступени, задерживающие катионы натрия и, наконец, через анионитовые фильтры II - ступени с загрузкой из сильноосновного анионита АВ-17-6. Здесь извлекаются анионы кремниевой кислоты и остатки свободной  $CO_2$ , не устраненные в декарбонизаторе, который размещают; после Н-катионитовых фильтров II ступени.

Трехступенчатая схема ионитовой установки позволяет осуществить еще более глубокое обессоливание воды с остаточным солесодержанием солей 0,1 мг/л понизить содержание кремниевой кислоты до 0,05 мг/л.

Таблица 9 - Данные анализа исходной воды следующие.

Наименование	Содержание Вещества в мг/л	Количество вещества в мг/л на 1 мг-экв/л	Содержание вещества в мг-экв/л
--------------	-------------------------------	---	-----------------------------------

Катионы:			
Ca <sup>2+</sup>	25	20,04	9,96
Mg <sup>2+</sup>	2,6	12,16	7,32
Na <sup>2+</sup>	2,7	23	8,22
Всего	30,3	—	1,58
Анионы:			
Cl <sup>-</sup>	1,1	35,46	0,03
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8,1	48,03	0,17
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	5,9	38,04	0,15
Всего	15,1	—	0,35

Общая минерализация воды составляет

$$M = \Sigma K + \Sigma A. \quad (56)$$

Тогда,  $M = 30,3 + 15,1 = 45,4$  мг/л

### 3.7.1 Катионитовые фильтры.

Н-Катионитовые фильтры загружают сильнокислотным катионитом КУ-2. Объем Н-катионита в фильтрах I ступени находится по формуле:

$$W_{HI} = \frac{\alpha_1 Q_{\text{сут}} \Sigma [K]}{n \cdot E_{\text{раб}}} \text{ м}^3 \quad (57)$$

где  $\alpha$  — коэффициент для учета расхода воды на собственные нужды установки; можно принимать  $\alpha = 1,1$ — $1,35$  (боогльшие значения принимают при повышенном солесодержании и глубоком обессоливании воды);

$Q_{\text{сут}}$  — полезный расход обессоленной воды в м<sup>3</sup>/сутки;

$\Sigma K$  — сумма катионов исходной воде в г-экв/м<sup>3</sup>;

$n$  — число фильтроциклов в сутки;:

$$E_{\text{раб}} = \alpha_1^H \gamma \cdot E_{\text{полн}} - 0,5q \cdot \Sigma [K] \quad (58)$$

где  $\alpha_{\text{э}}^H$  — коэффициент эффективности регенерации;

$\gamma$  — коэффициент для учета снижения обменной способности, Н-катионита: по катиону натрия по сравнению с обменной способностью по катионам жесткости;

$E_{\text{полн}}$  — полная обменная способность катионита равная для КУ2 1500 – 1700 г·экв/м<sup>3</sup> при  $\gamma=0,8 - 0,9$ ;

$q$  — удельный расход осветленной воды на отмывку 1 м<sup>3</sup> Н-катионита.

Тогда при  $E_{\text{полн}} = 1700 \text{ г-экв/м}^3$  и  $q = 4 - 5 \text{ м}^3/\text{с}$ :

$$E_{\text{раб}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1700 - 0,5 \cdot 4 \cdot 30,3 = 1316,4 \text{ г-экв/м}^3$$

$$W_{\text{Н1}} = \frac{\alpha_1 Q_{\text{сум}} \sum [K]}{n \cdot E_{\text{раб}}} = \frac{1,2 \cdot 1943,7 \cdot 30,3}{2 \cdot 1316,4} = 26,54 \text{ м}^3$$

При высоте загрузки  $h = 2,5$  м суммарная площадь катионитовых фильтров будет  $\Sigma F_{\text{Н1}} = 26,84 : 2,5 = 10,61 \text{ м}^2$ .

Принимаем по два рабочих фильтра и один резервный  $D = 2,6$  м общей площадью  $\Sigma F_{\text{Н1}} = 2 \cdot 5,31 = 10,62 \text{ м}^2$

Скорость фильтрования воды при нормальном режиме

$$v = 20 \text{ м/ч}$$

Для катионитовых; фильтров II ступени

$$E_{\text{раб}} = \alpha_{\text{э}} E_{\text{полн}} - 0,5 q C_{\text{Na}} \quad (59)$$

где  $C_{\text{Na}}$  — содержание натрия в воде, поступающей на Н-катионитовые фильтры II ступени, вследствие проскока натрия в фильтрат I ступени.

Величина  $C_{Na}$  принимается (с запасом) равной концентрации Na в исходной воде.

$$E_{раб} = \alpha_1^H \gamma \cdot E_{полн} - 0,5q \cdot \sum[K] = 1301,25$$

Число фильтроциклов за сутки  $n=2$

Объем катионитовой загрузки по формуле

$$W_{HI} = \frac{\alpha_1 Q_{сут} \sum[K]}{n \cdot E_{раб}} = \frac{0,91 \cdot 1943,7 \cdot 30,3}{2 \cdot 1301,25} = 20,59 м^3$$

При высоте загрузки  $h=2$  м площадь фильтров II ступени определяется по формуле

$$\Sigma F_{HI} = 20,59 : 2 = 10,29 м^2$$

Принимаем два рабочих фильтра и один резервный  $D = 2,6$  м и площадью  $\Sigma F_{HI} = 5,31$  каждый. Н-катионитовые фильтры III ступени принимаем без расчета равнозначными фильтрам II ступени.

Скорость фильтрования воды через Н-катионитовые фильтры I ступени должна быть не более 25 м/ч, а при форсированном режиме (выключение одного на регенерацию) — не более 30 м/ч. Для фильтров II и III ступеней, эту скорость можно повысить до 40-60 м/ч.

### 3.7.2 Анионитовые фильтры.

Для фильтров I ступени расчетная ионообменная способность слабоосновного анионита АН-31 во влажном состоянии составляет  $E_{раб} = 1500$  г-экв/м<sup>3</sup>.

Расчетная скорость фильтрования анионитовых фильтров I ступени определяется по формуле

$$v_p = \frac{E_{\text{раб}} h_a - 5h_a A}{TA + 0,02E_{\text{раб}} \ln A - 0,1A \ln A}, \quad (60)$$

$$v_p = \frac{1500 \cdot 2,5 - 5 \cdot 2,5 \cdot 15,1}{7,25 \cdot 15,1 + 0,02 \cdot 1500 \cdot 2,7 - 0,1 \cdot 15,1 \cdot 2,7} = 19,1,$$

где  $h_a$  - высота загрузки анионитовых фильтров 1 ступени, равная 2,5 м;

$A$  - содержание анионов сильных кислот в исходной воде.

$T$  - продолжительность работы каждого фильтра. между регенерациями в ч, равная:

$$T = \frac{24}{n} - t_1 - t_2 - t_3 = \frac{24}{2} - 0,25 - 1,5 - 3 = 7,25 \text{ ч}, \quad (61)$$

где  $n$  - число, регенераций за сутки, принимаемое равным 2;

$t_1$  - продолжительность взрыхления анионита, равная 0,25 ч

$t_2$  - продолжительность пропуска через анионит регенерационного раствора, щелочи, равная 1,5ч;

$t_3$  - продолжительность отмывки анионит после регенерации, равно 3ч.

Площадь анионитовых фильтров:

$$\sum F_{Al} = \frac{Q_{\text{сум}}}{nTv_p} = \frac{1943,7}{2 \cdot 7,25 \cdot 19,1} = 7,02 \text{ м}^2 \quad (62)$$

Принимаем: два рабочих и один резервный фильтр диаметром 2,6 м и площадью  $\Sigma F_{H11} = 5,31$  каждый.

Для анионитовых фильтров II -ступени расчетная величина обменной способности:

$$E_{расч} = E_{раб} \cdot 0,5qC_{SiO_2} = 96 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 1,28, \quad (63)$$

где  $q$  — удельный расход осветленной воды в  $m^3$  на  $1 m^3$  загрузки;

$C_{SiO_3^{2-}}$  - содержание  $SiO_2$  в исходной воде в мг-экв/л

Для загрузки фильтра II ступени применяется сильноосновный анионит АВ17-8 ЧС расчетная кремнёемкость которого составляет  $420 \text{ г-экв}/m^3$ .

Тогда необходимый объем анионита АВ17-8 ЧС:

$$W_{АИ} = \frac{E_{раб} h_a - 5h_a A}{TA + 0,02E_{раб} \ln A - 0,1A \ln A} = 6,75 m^3 \quad (64)$$

При высоте загрузки  $1,5 m$  площадь фильтров будет  $F_{АИ} = 4,5 m^2$

Принимаем два рабочих фильтра и один резервный диаметром  $2,6 m$  и площадью  $\Sigma F_{Н11} = 5,31$  каждый.

Тогда при работе обоих фильтров скорость фильтрования, а при выключении одного фильтра на регенерацию:

$$v_p = \frac{1,03 \cdot 140}{3 \cdot 3,14} = 15,3 \quad (65)$$

Анионитовые фильтры III ступени подбирают по скорости фильтрования, до  $30 m/ч$  и высоте загрузки  $1,5 m$ . Поэтому в данном случае эти фильтры приняты таких же размеров, как и для II ступени.

### 3.8 Расчет УФ+УЗ - установки для обеззараживания воды

Расчетный бактерицидный поток рассчитывается по формуле

$$F_{\sigma} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot \alpha \cdot K \cdot \lg(P \div P_0)}{1563,4 \cdot \eta \cdot \eta_0} \quad (66)$$

где  $Q_{\text{час}}$  - расчетный расход обеззараживаемой воды в м<sup>3</sup>/ч;

$\alpha$  - коэффициент поглощения облучаемой воды см<sup>-1</sup>, для обработанной воды из поверхностных источников водоснабжения 0,3 см<sup>-1</sup>.

$K$  - коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий, принимаемый равным 2500 ;

$P_0$  - количество бактерий в 1 л воды, максимальное расчетное загрязнение исходной воды принимаемое равны коли - индексу  $P_0=1000$ ;

$P$  - количество бактерий после облучения;

$\eta$  - коэффициент использования бактерицидного потока, для установок с погруженным источником погружения 0,9;

$\eta_0$  коэффициент использования бактерицидного излучения, зависящий от толщины слоя воды, ее физико-химических свойств и конструктивного типа установки, равным 0,9.

$$F_{\sigma} = \frac{80,9875 \cdot 0,3 \cdot 2500 \cdot \lg(115513,3)}{1563,4 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 242,83 \text{ Вт}$$

Расход электроэнергии на обеззараживание воды вычисляется по формуле

$$S = \frac{N_n}{Q_{\text{час}}} \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^3 \quad (67)$$

где  $N$  – мощность, потребляемая одной лампой;

$$S = \frac{80}{80,98} = 0,98 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^3$$

Необходимое количество ламп определяется по формуле

$$n = \frac{F_6}{N_n} \quad (68)$$

$$n = \frac{242,83}{80} = 3,03 \approx 4 \text{ шт.}$$

Принимаем две бактерицидных установки обеззараживания воды и одну резервную, типа ФХРК-М50 Ультрафиолет и ультразвук вместе. На несколько порядков эффективнее чем применения одних бактерицидных ламп. Ультразвук препятствует обрастанию чехлов бактерицидных ламп и повышает эффективность обработки во много раз. Установки не требуют периодической очистки. Набором установок можно создать станцию по очистке воды необходимой производительности.

#### **4. Эколого-экономическое обоснование проекта.**

##### **4.1 Определение размера вреда при использовании поверхностного источника.**

Размер вреда, причиненного водному объекту при использовании его как единственного, для водоснабжения предприятия топливно-энергетического комплекса, определяется по формуле

$$U_{II} = K_B \cdot K_{IH} \cdot H_{II} \cdot O_B, \text{ тыс.руб.} \quad (69)$$



где  $K_B$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы ( состояние водных объектов) 1,4 – для подземных вод;

$K_{ИН}$  – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

$N_{ИН}$  – такса для исчисления размера вреда, причиненного водным объектам при осуществлении забора из них, руб. 9,3 – для р. Енисей;

$O_B$  – объем воды, необходимый для восстановления водного объекта от истощения, принимается равным двойному объему воды, забранной из водного объекта, тыс. м<sup>3</sup>

При заборе воды и подготовка ее для использования в производстве, существуют потери объемов забранной воды на каждом сооружение. Потери объемов необходимо восполнять для нормальной работы, то есть увеличивать количество забираемой воды. В таблице 10 представлены потери объемов на различные сооружения.

Таблица 10 – Потери объема на сооружениях на 1м<sup>3</sup>

Технологическая схема			
Существующие сооружения		Предлагаемые сооружения	
Угольный напорный фильтр	0,008	Сорбционный напорный фильтр	0,003
УФ камера	0,0012	УФ+УЗ установка	-

Объем воды, необходимый для восстановления водного объекта от истощения, с учетом потерь на сооружениях определяется по формуле 70:

$$O_B = 2 \cdot (Q_{общ} + \sum k_{потерь} \cdot Q_{общ}), \text{ тыс. м}^3 \quad (70)$$

где  $k_{потерь}$  – коэффициент, учитывающий потери на сооружениях;

$Q_{общ}$  – общее водопотребление на ТЭЦ.

Для существующей технологической схемы объем воды на восстановления водного объекта:

$$O_B = 2 \cdot (709,45 + (0,008 + 0,0012) \cdot 709,45) = 1431,95 \text{ тыс. м}^3$$

Тогда размер вреда для существующей технологической схемы составляет

$$U_{II} = 1,4 \cdot 2,66 \cdot 9,3 \cdot 1431,95 = 49593,01 \text{ тыс. руб.}$$

Для предложенной технологической схемы объем воды на восстановления водного объекта:

$$O_B = 2 \cdot (709,45 + (0,003) \cdot 709,45) = 1423,15 \text{ тыс. м}^3$$

Тогда размер вреда для существующей технологической схемы составляет

$$U_{II} = 1,4 \cdot 2,66 \cdot 9,3 \cdot 1423,15 = 49288,24 \text{ тыс. руб.}$$

Из расчетов следует, что предложенная технологическая схема, не только улучшает степень очистки, но и позволяет снизить выплаты на 304,77 тысяч рублей за ущерб, нанесенный водному источнику.

#### **4.2 Расходы на заработную плату**

Заработная плата зависит от численности эксплуатационного персонала по категориям работающих, годового фонда работающих и районного коэффициента, данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Фонд заработной платы существующей технологической схемы

Категория работника	Численность	Месячный тарифный фонд, тыс. руб.	Годовой фонд, тыс.руб.
ИТР	1	39	468
Рабочие	2	46,75	561
лаборант	1	39	468
оператор	1	39	468
МОП	2	19,5	234
Итого	7	158,25	1899

При численности обслуживающего персонала цеха ХВО 7 человек годовой фонд оплаты труда с учетом всех социальных отчислений и квалификационных коэффициентов рассчитан по формуле:

$$C_{з/пл} = 12 \cdot MPOТ \cdot n \cdot K_p \cdot K_c \cdot Ч \quad (71)$$

где 12 – количество месяцев в году, мес;

MPOТ– минимальный размер оплаты труда, тыс.руб.;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий отчисления от суммы заработной платы единого социального налога в государственные внебюджетные фонды,  $K_c=1,27$

$K_p$  – коэффициент районный – 1,2

$n$  – коэффициент, учитывающий квалификацию сотрудника

$Ч$  – численность сотрудников

Следовательно:

$$C_{з/пл} = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$C_{з/пл} = 12 \cdot 12792 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 2 = 561 \text{ тыс.руб./год}$$

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 0,5 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 2 = 234 \text{ тыс.руб./год}$$

Модернизация технологической схемы, благодаря более автоматизированной работе, позволяет сократить количество привлеченного в цехе ХВО персонала. Затраты на заработную плату сотрудникам, представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Фонд заработной платы предложенной технологической схемы

Категория работника	Численность	Месячный тарифный фонд, тыс. руб.	Годовой фонд, тыс.руб.
ИТР	1	39	468
Рабочие	1	23	281
лаборант	1	39	468
оператор	1	39	468
МОП	2	19,5	234
Итого	6	134,92	1619

При численности обслуживающего персонала цеха ХВО 6 человек годовой фонд оплаты труда с учетом всех социальных отчислений и квалификационных коэффициентов рассчитан по формуле 71:

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 281 \text{ тыс.руб./год}$$

$$Cз/пл = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$C_{з/пл} = 12 \cdot 12792 \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1 = 468 \text{ тыс.руб./год}$$

$$C_{з/пл} = 12 \cdot 12792 \cdot 0,5 \cdot 1,27 \cdot 1,2 \cdot 2 = 234 \text{ тыс.руб./год}$$

Модернизация технологической схемы с увеличением числа полностью автоматических установок, позволяет уменьшить количество задействованного персонала, тем самым сэкономить в год около 280 тысяч рублей в год.

## **Заключение**

1. Разработана технологическая схема водоподготовки воды на различные нужды ТЭЦ из поверхностного водного источника;
2. Предложена замена загрузки в напорных фильтрах, на загрузку с сорбирующим эффектом;
3. Предложена модернизация камеры обеззараживания, путем, применения ультразвука, позволяющего полностью автоматизировать данный процесс;
4. Обоснована эколого-экономическая целесообразность применения рекомендованной технологии на основе снижения экологических платежей.

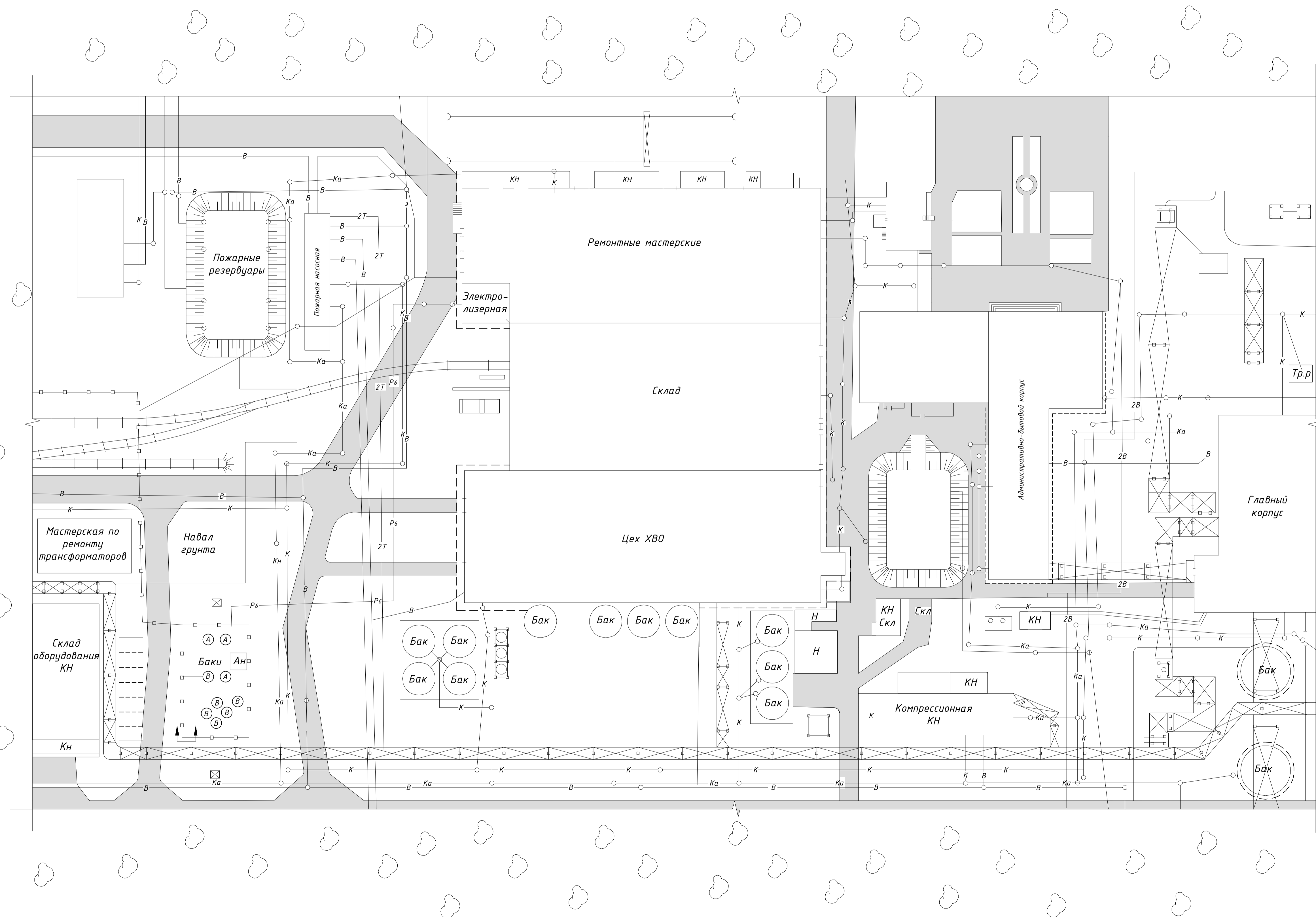
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84». Дата введения 1 января 2013 г. – 136 с
- 2) Методика разработки норма и нормативов водопотребления и водоотведения на предприятиях теплоэнергетики, 2013.
- 3) СП 8.1313.2020 "Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности».
- 4) Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник/Б.Н. Репин. – М.: Высш. шк., 1995. – 431 с.
- 5) Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Водозаборные сооружения: в 3 т. / М.Г Журба; научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г. – Вологда : ВоГТУ, 2001. – Т 1. – 209 с.
- 6) Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. – Т 2. Очистка и кондиционирование природных вод / Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г. Вологда – Москва: ВоГТУ, 2001. – 324 с.
- 7) Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. – Т 1. Системы распределения и подачи воды / Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г. Вологда – Москва: ВоГТУ, 2001. – 188 с.
- 8) Кожинов, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды / В.Ф. Кожинов. – Москва : Стройиздат, 1971. – 304 с.
- 9) СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. контроль качества.
- 10) Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. - Москва: Издательство МГУ, 1996. - 680 с.

- 11) Халтурина Т.И. Чурбакова О.В. Учебно-методическое пособие для студентов спец. 270112.65 "Водоснабжение и водоотведение", 2012. - 56 с.
- 12) Водный кодекс. Статья 65. Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы.
- 13) ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа.
- 14) Методические указания по проектированию водоохраных зон водных объектов и их прибрежных защитных полос. Мин-во ПР РФ, 1998 г.
- 15) СП 2.1.5.1059-01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения, 2001.
- 16) Экономические расчеты в курсовых и дипломных проектах : учеб. пособие для строит. вузов / под ред. Ю.П. Панибратова. – Москва : Высшая школа, 1984. – 175 с.
- 17) Водоснабжение. Техничко-экономические расчеты / под ред. Г.М. Басса. – Киев : Высшая школа, 1977. – 152 с.
- 18) Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства (утв. приказом Минприроды России от 13 апреля 2009 г. N 87)

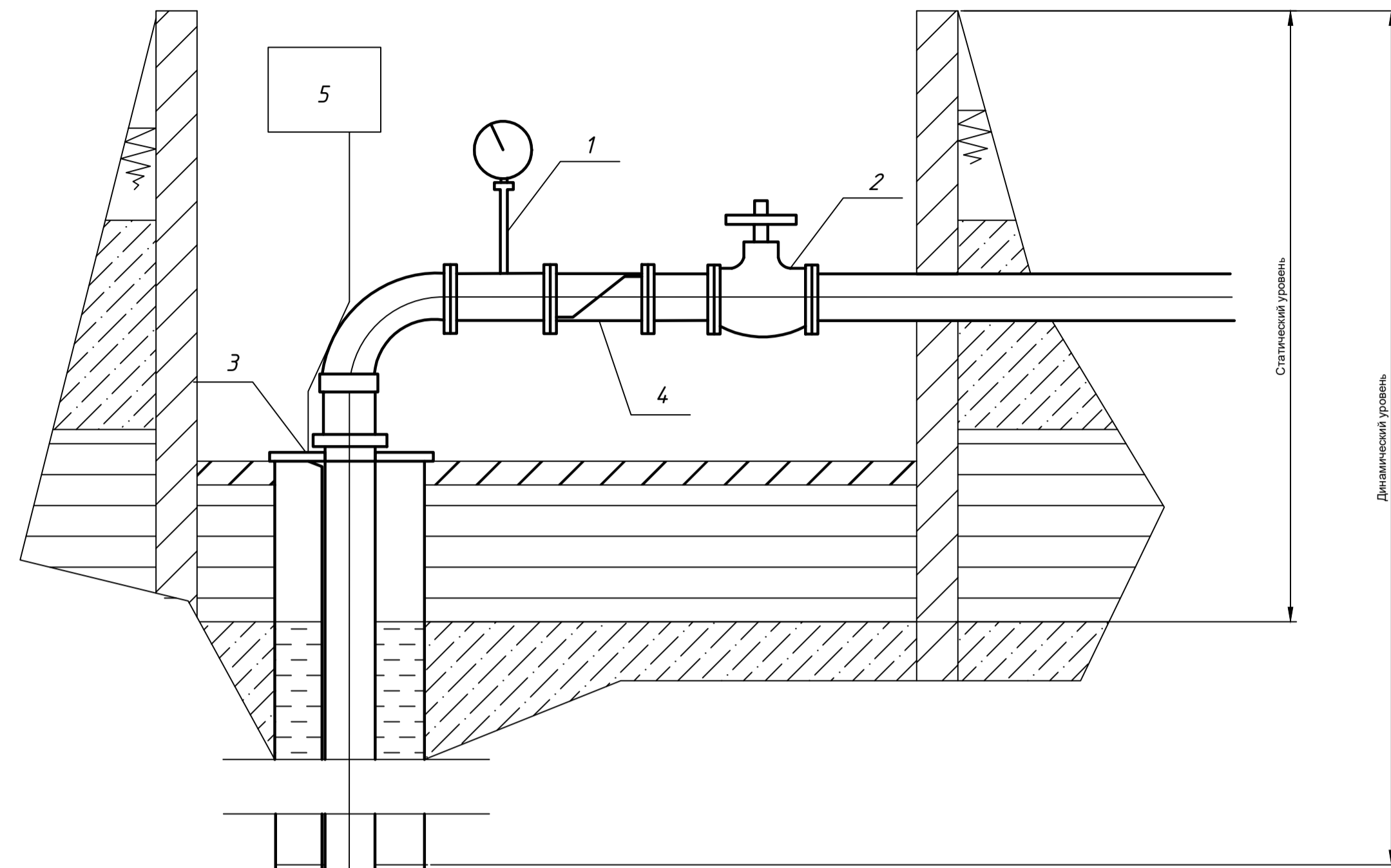


# Генеральный план ТЭЦ

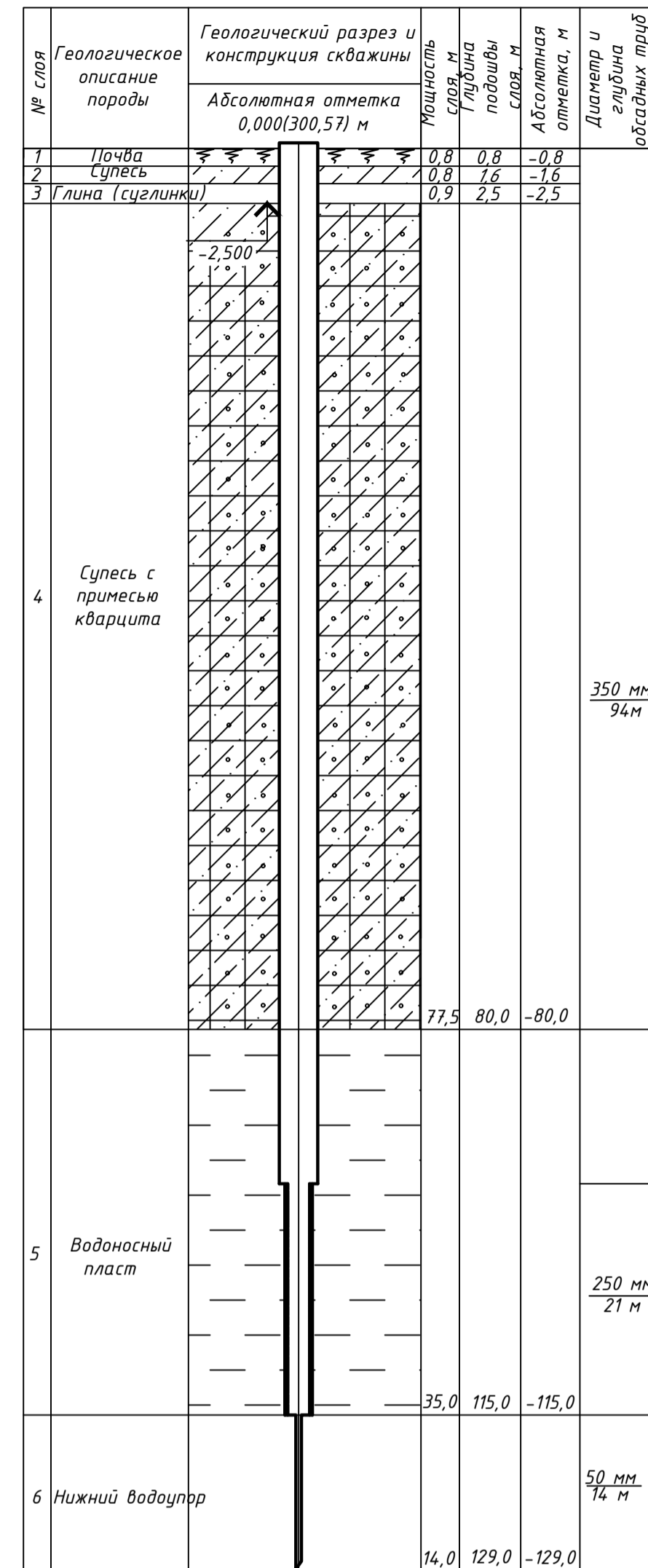


					БР - 20.03.02 2021				
					Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае	Стадия	Лист	Листов
Разработ.	Ускова						1	6	
Руководит.	Бобрик								
Н. контр.	Бобрик					Генеральный план ТЭЦ	Кафедра ИСЭС		
Зав. каф.	Матюшенко								

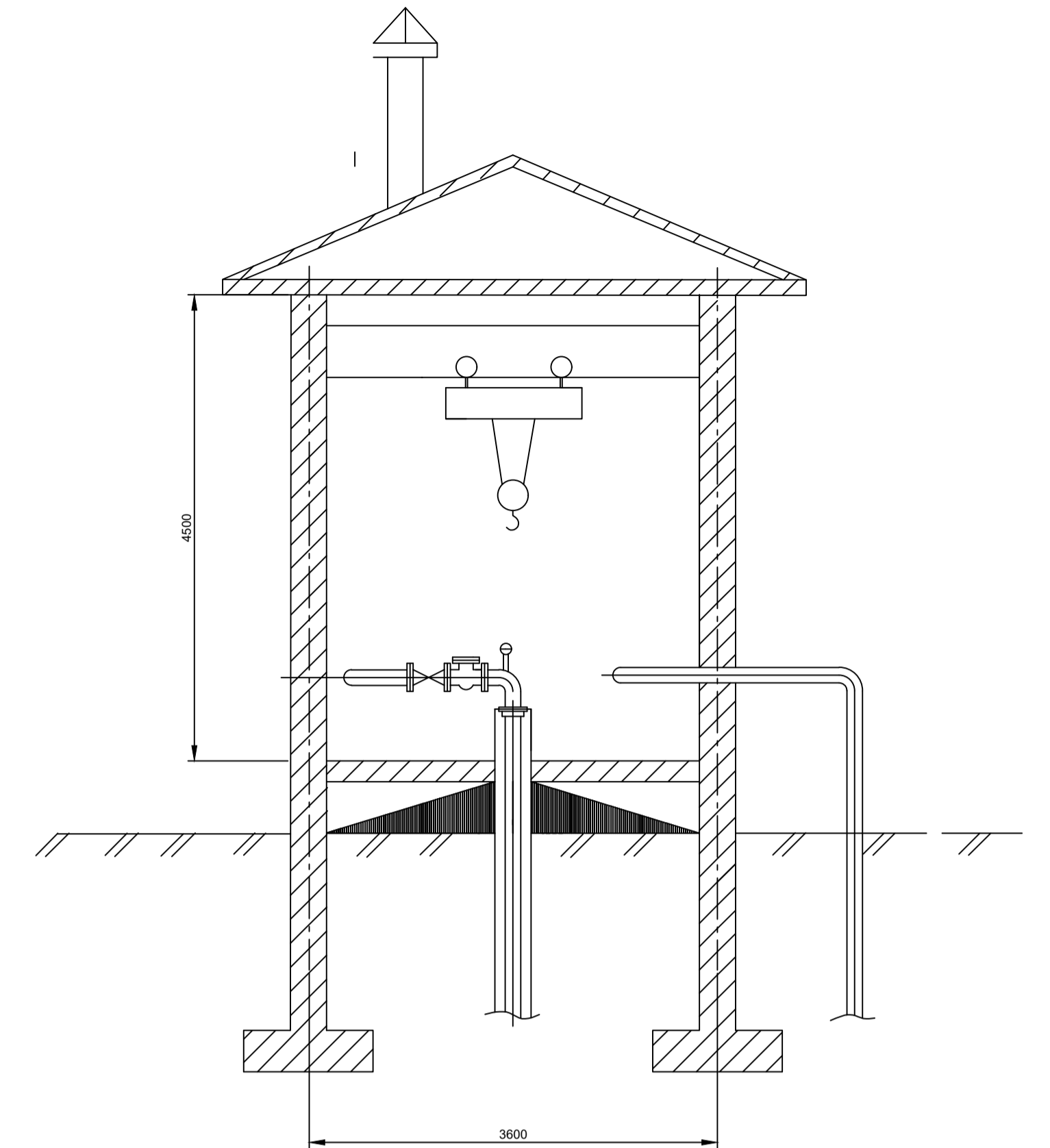
### Аппаратурное оформление устья скважины



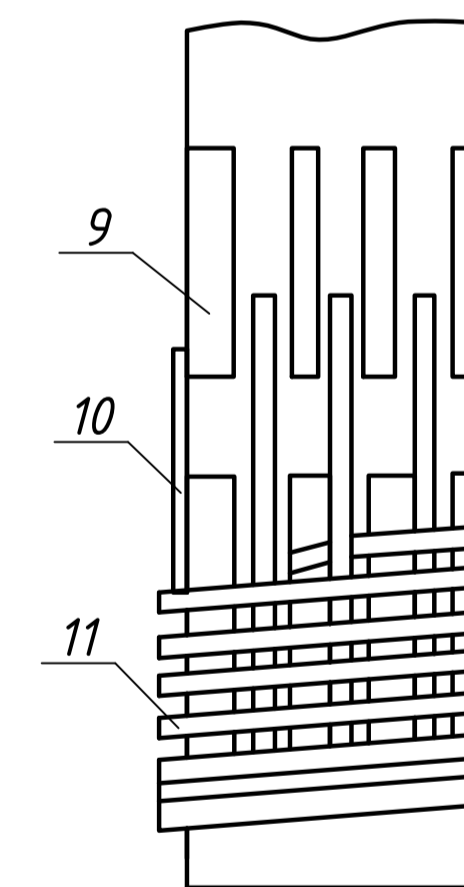
### Геолого-технологический разрез скважины М 1:500



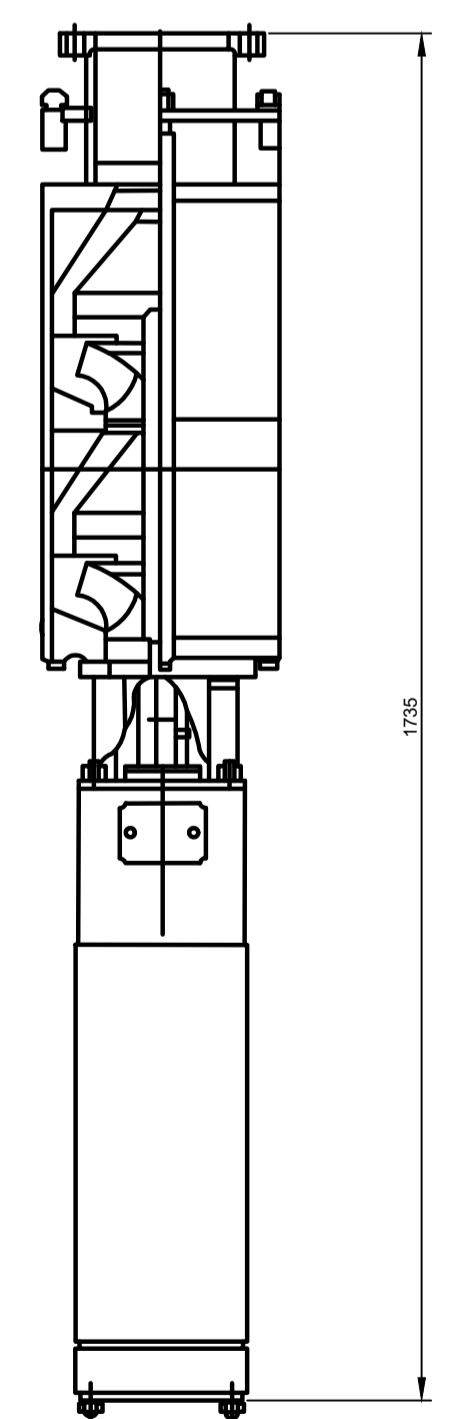
### Конструкция павильона М 1:50



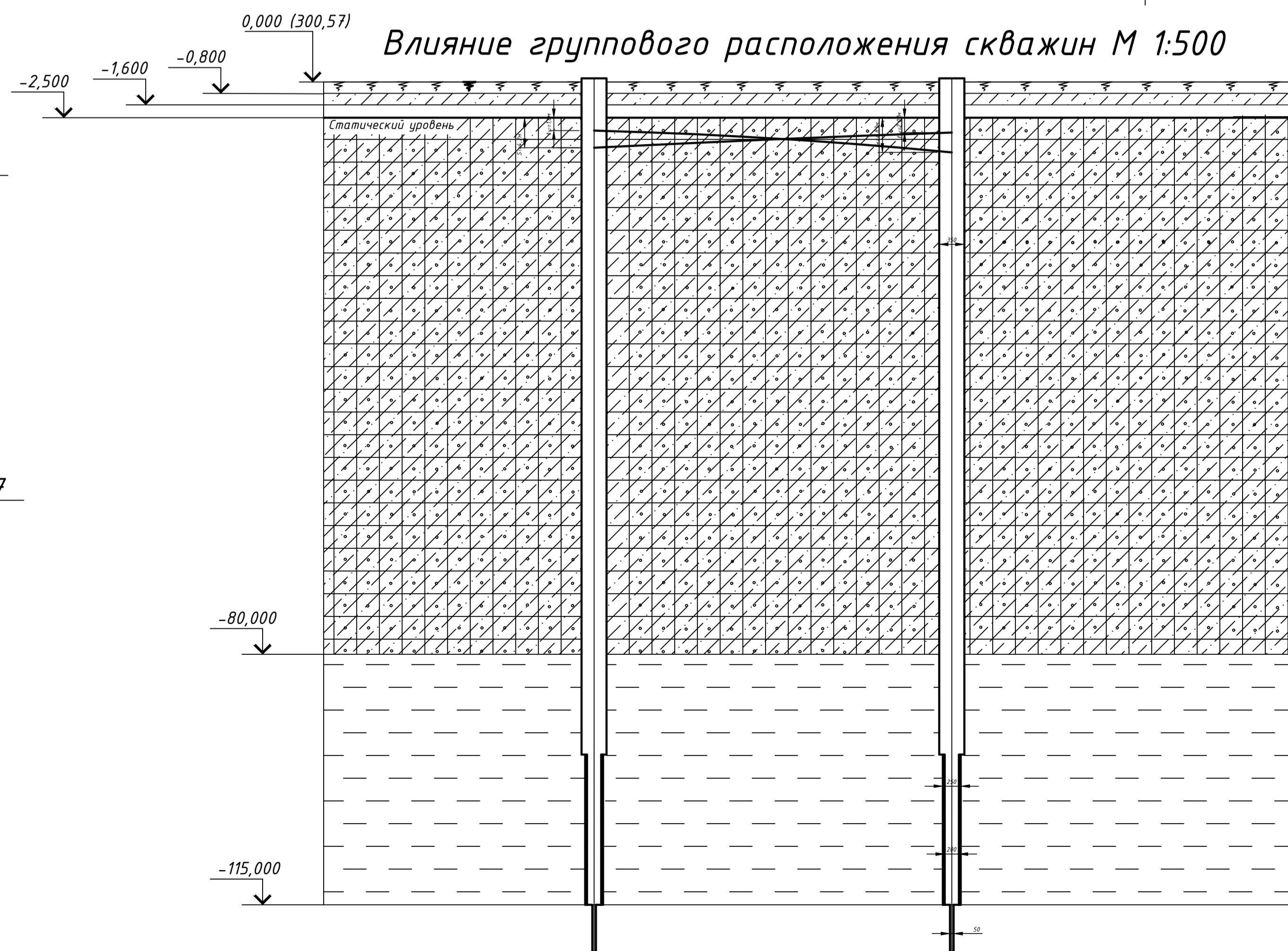
### Фильтр с ребристой водоприемной поверхностью



### Насос ЭЦВ 8-65-70 М 1:10



### Влияние группового расположения скважин М 1:500

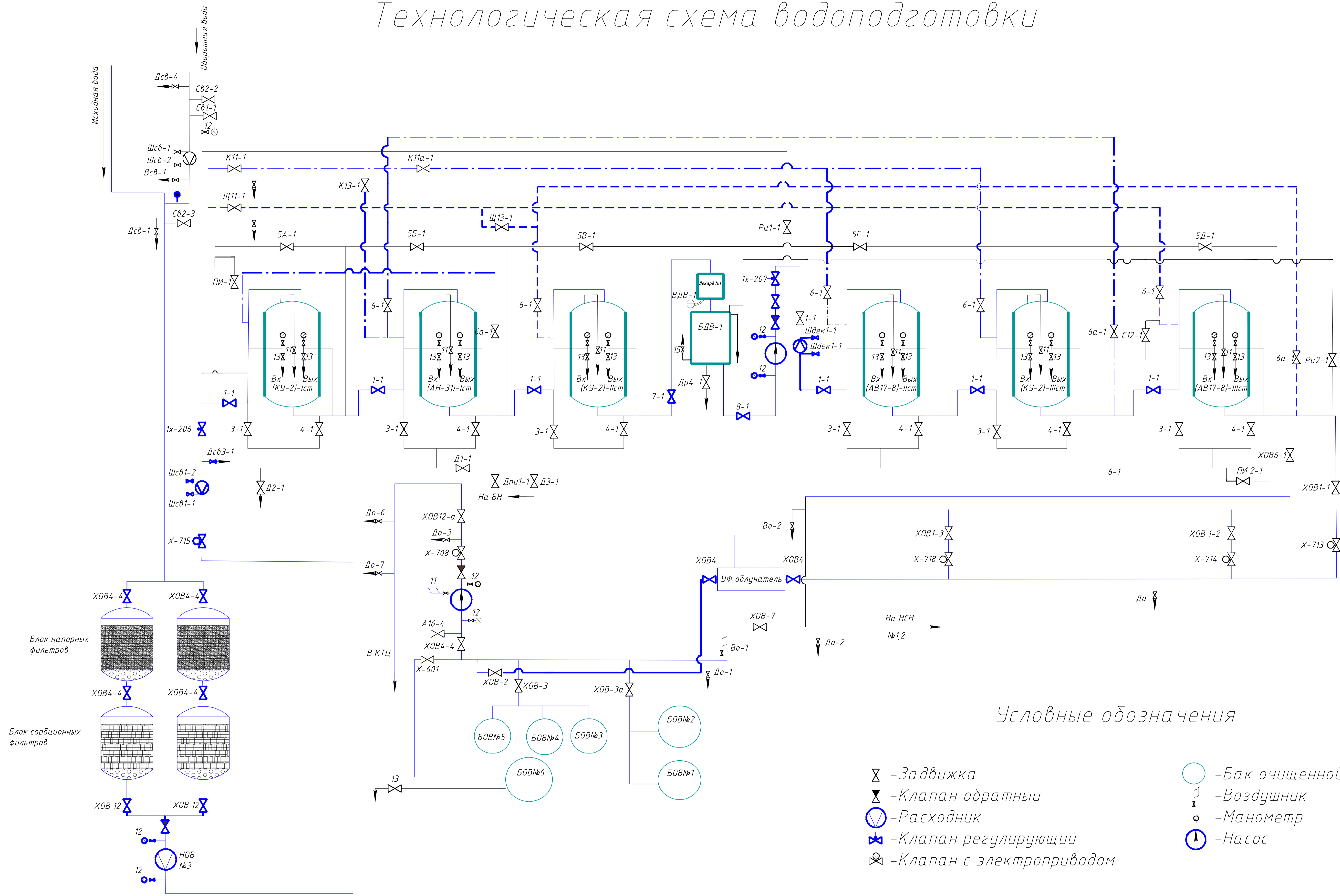


### Условные обозначения

- 1 - манометр;
- 2 - задвижка;
- 3 - оголовок скважины;
- 4 - обратный клапан;
- 5 - система управления;
- 6 - насос ЭЦВ;
- 7 - фильтр;
- 8 - трубчатый каркас с щелевой перфорацией;
- 9 - подкладочные продольные стержни;
- 10 - водоприемная поверхность из проволоочной обмотки.

Изм.						BR - 20.03.02 2021					
Сибирский Федеральный Университет						Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае					
Разраб.	Ускова					Стадия	Лист	Листов			
Руководит.	Бобрик						2	6			
Н. контр.	Бобрик	Водозаборная скважина				Кафедра ИСЭС					
Зав. каф.	Матюшенко										

# Технологическая схема водоподготовки

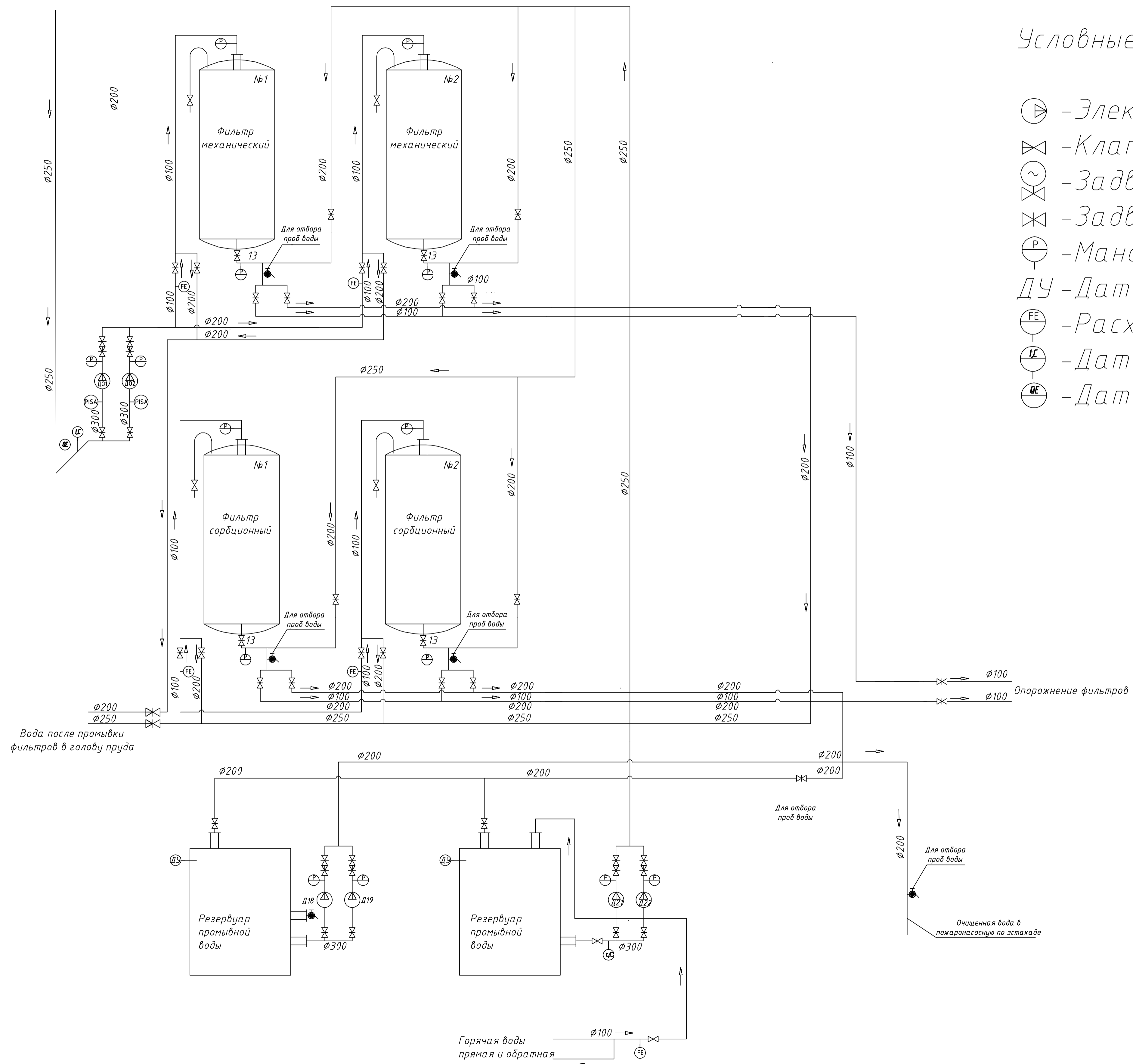


## Условные обозначения

- ⊗ - Задвижка
- ⊗ - Клапан обратный
- ⊗ - Расходник
- ⊗ - Клапан регулируемый
- ⊗ - Клапан с электроприводом
- - Бак очищенной воды
- ⊗ - Воздушник
- - Манометр
- ⊗ - Насос

БР - 20.03.02 2021					
Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. чл.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработ.	Ускова				
Руководит.	Бобрин				
Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае			Страница	Лист	Листов
				3	6
Технологическая схема водоподготовки			Кафедра ИСЭиС		
Н. контр.	Бобрин				
Зав. каф.	Матюшенко				

# Технологическая схема напорных фильтров

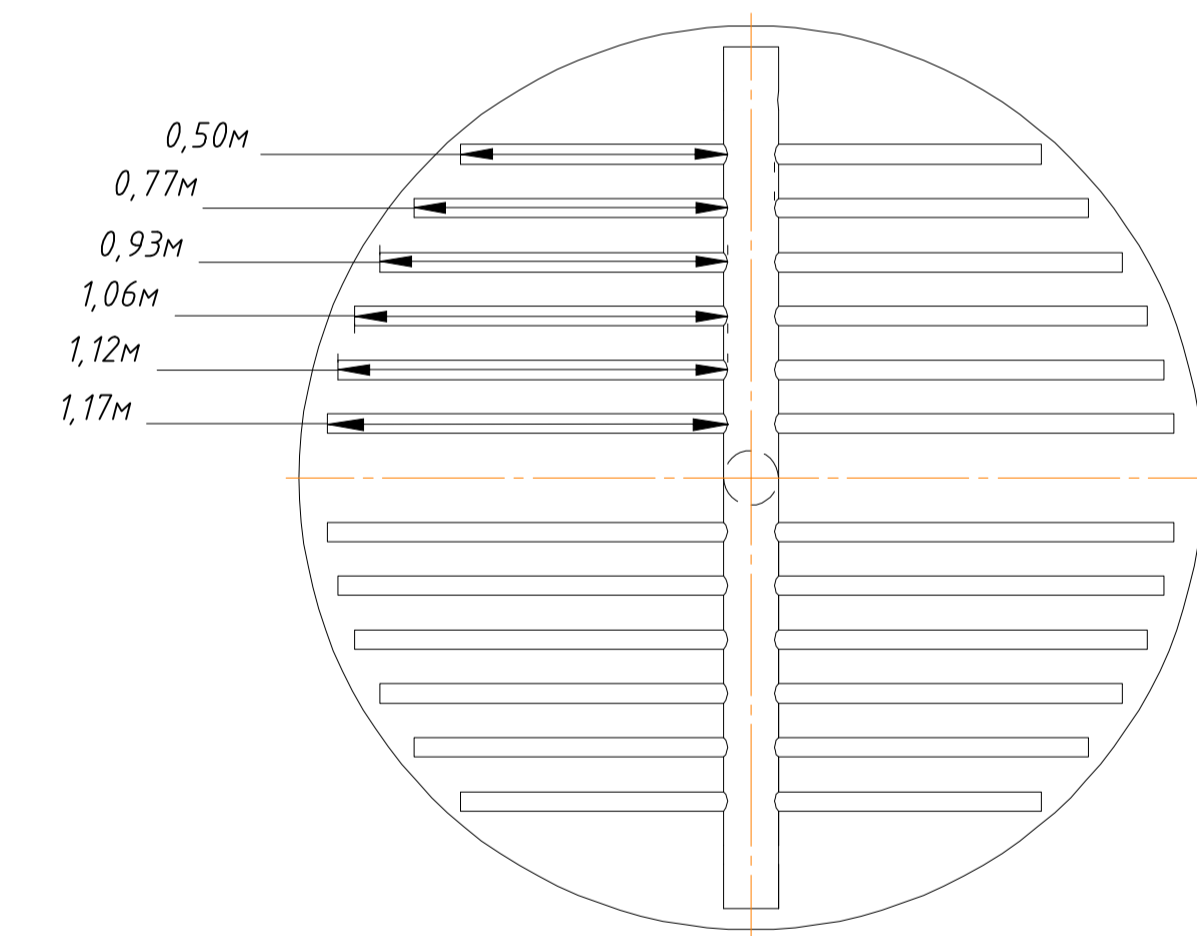
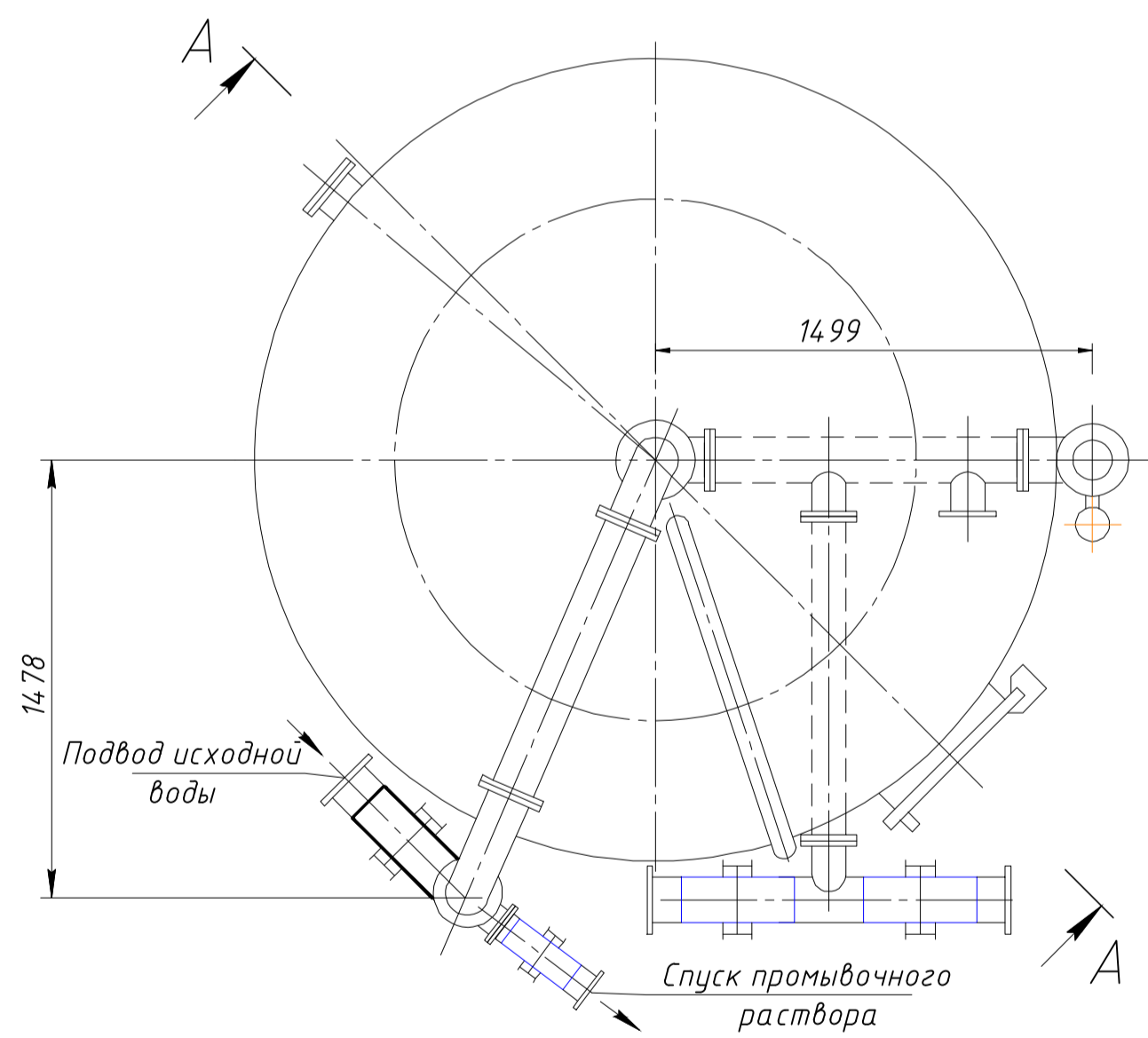
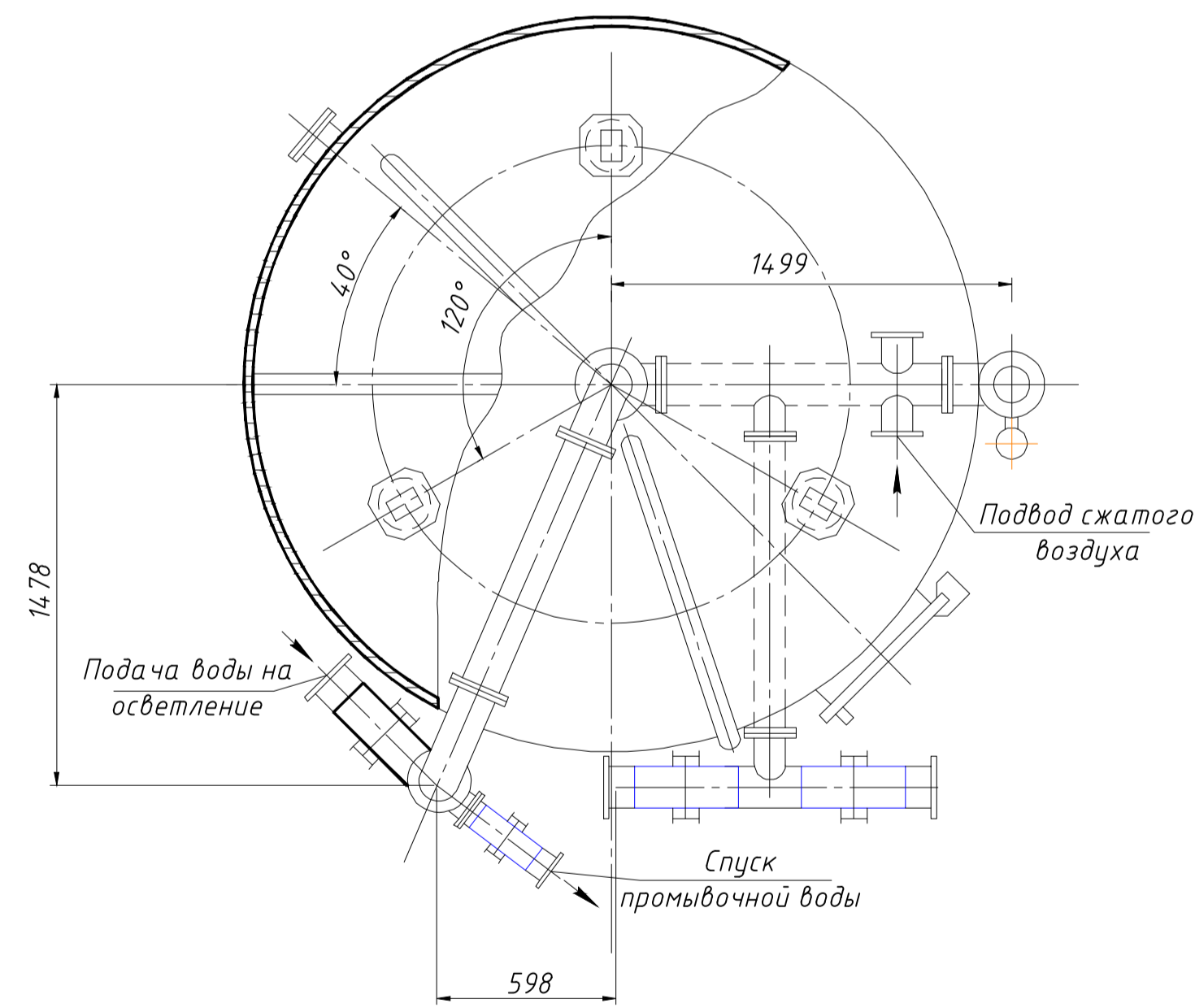
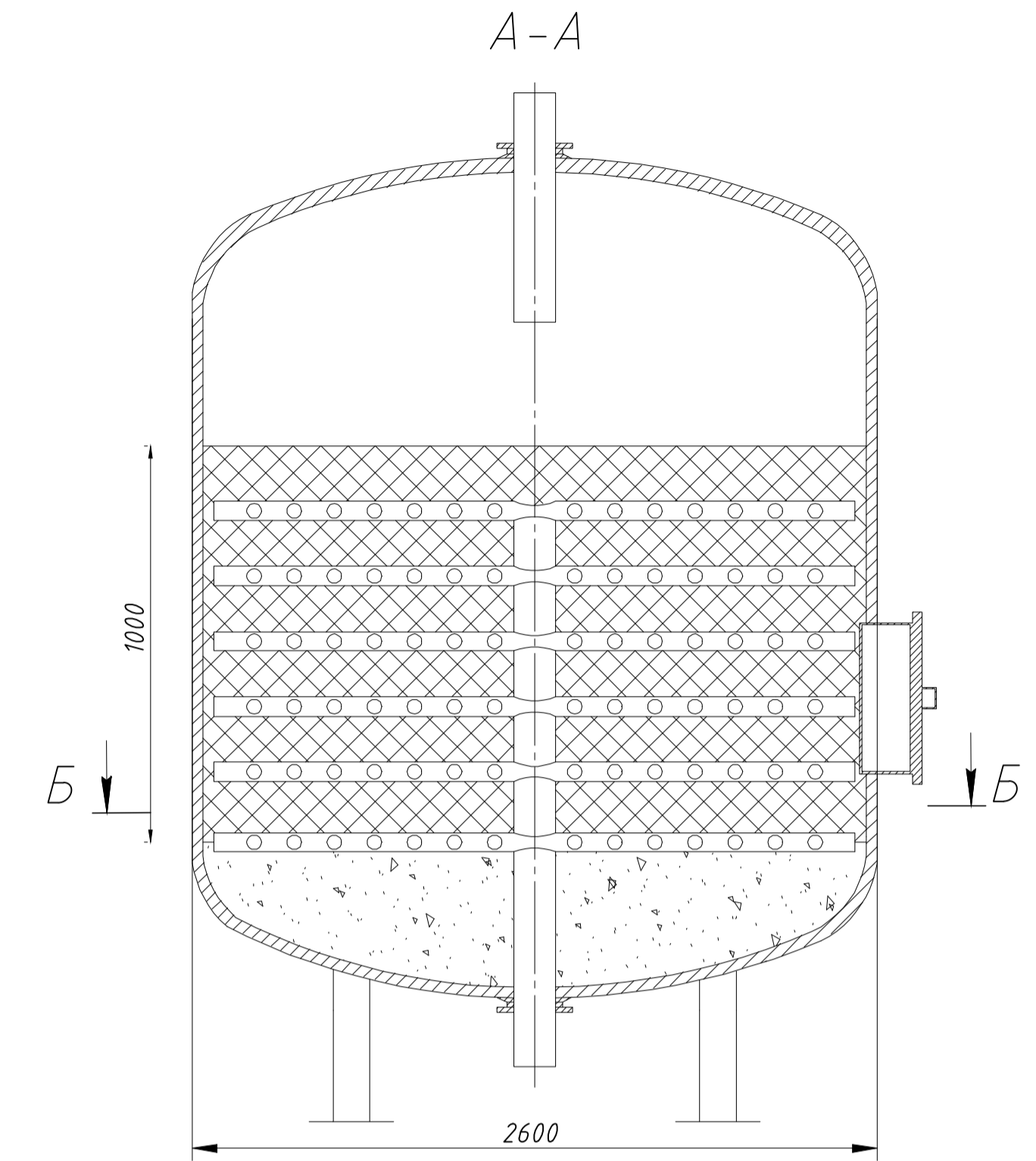
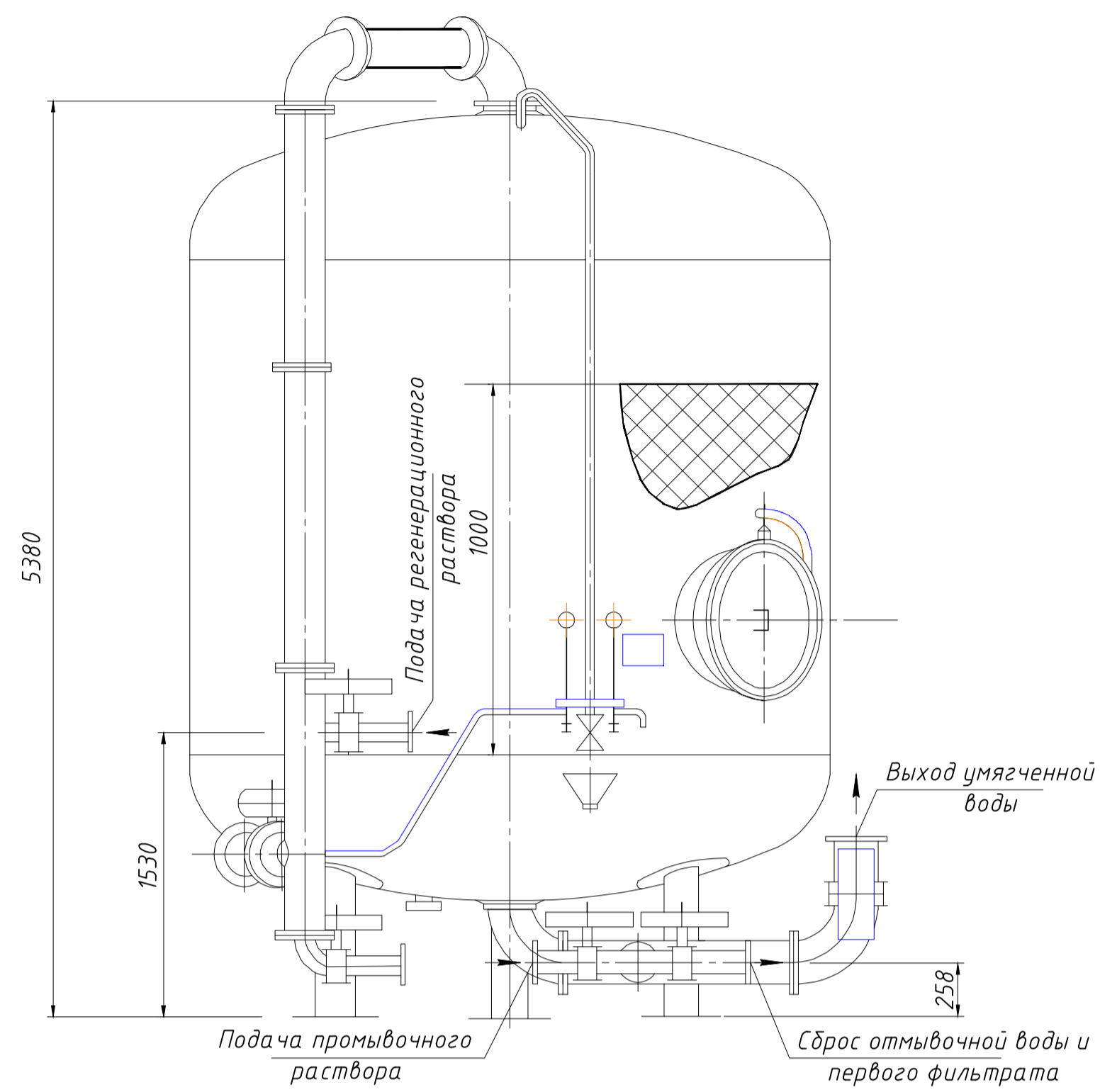
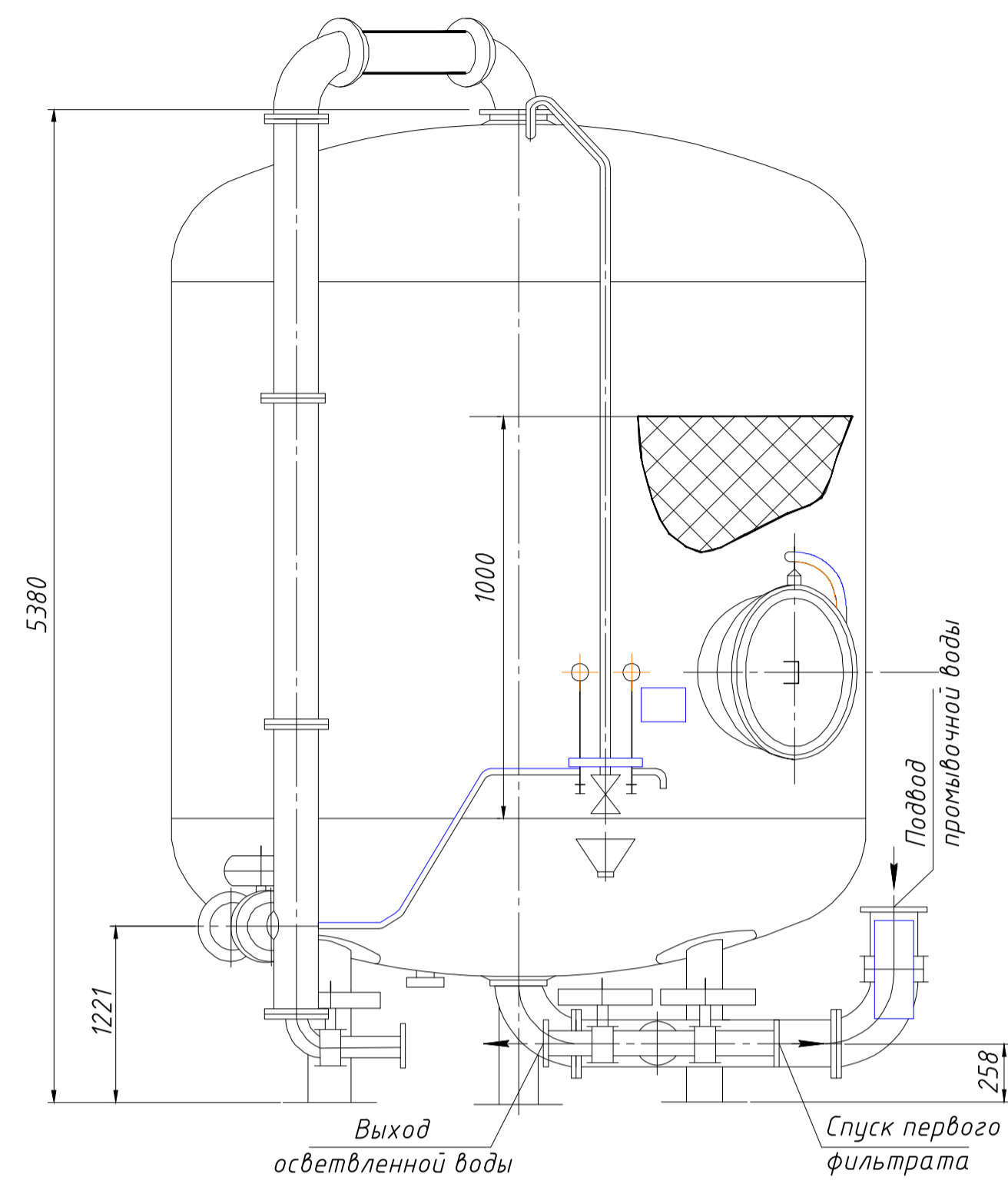


## Условные обозначения

- Электронасос
- Клапан обратный
- Задвижка с электроприводом
- Задвижка с ручным приводом
- Манометр
- ДУ - Датчик уровня
- Расходомер
- Датчик температуры
- Датчик рН-метра

						БР - 20.03.02 2021			
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае	Стадия	Лист	Листов
Разработ.	Усова							4	6
Руководит.	Бобрик					Технологическая схема напорных фильтров	Кафедра ИСЭиС		
Н. контр.	Бобрик								
Зав. каф.	Матюшенко								

# Схема сорбционного фильтра

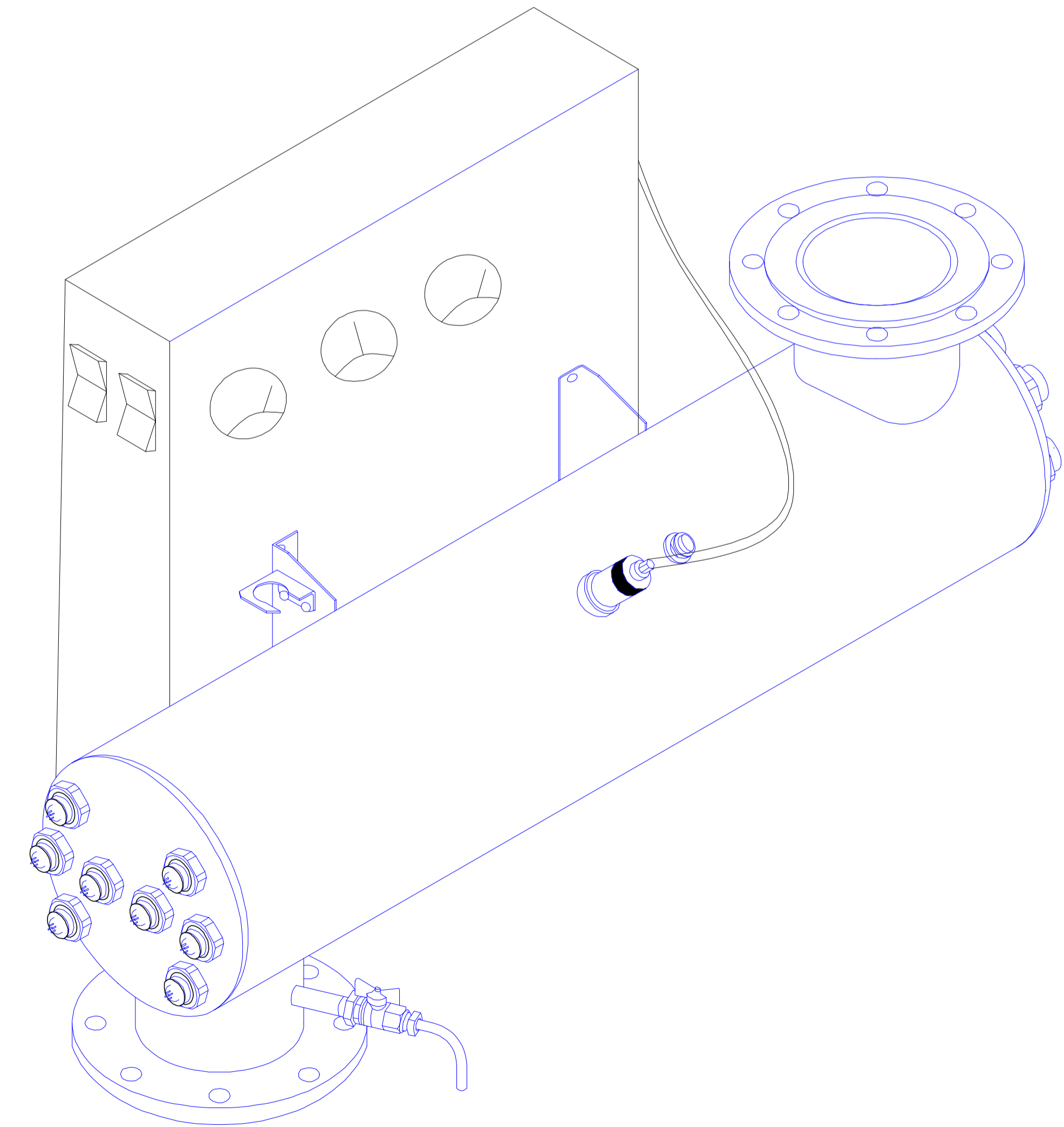
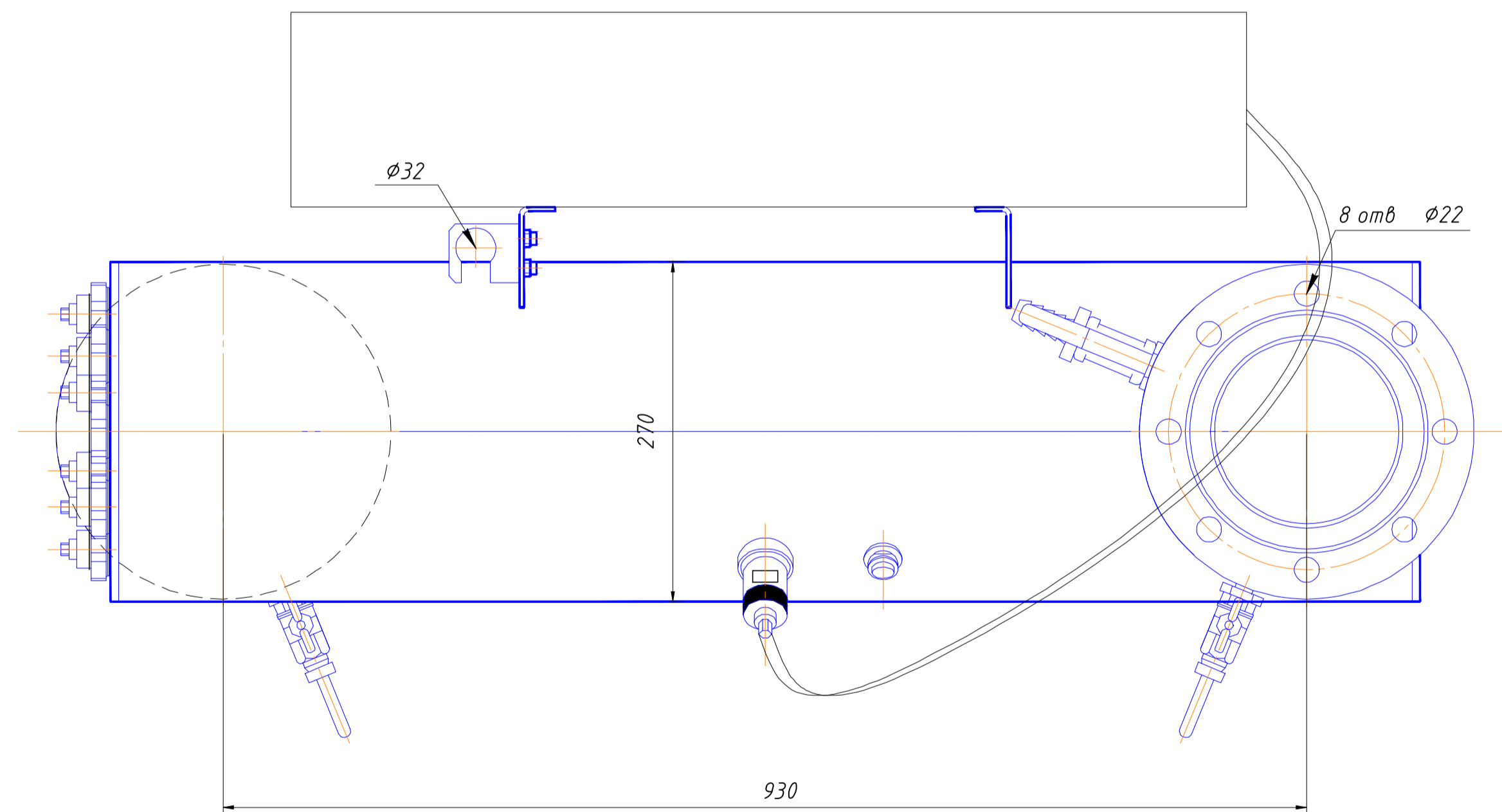
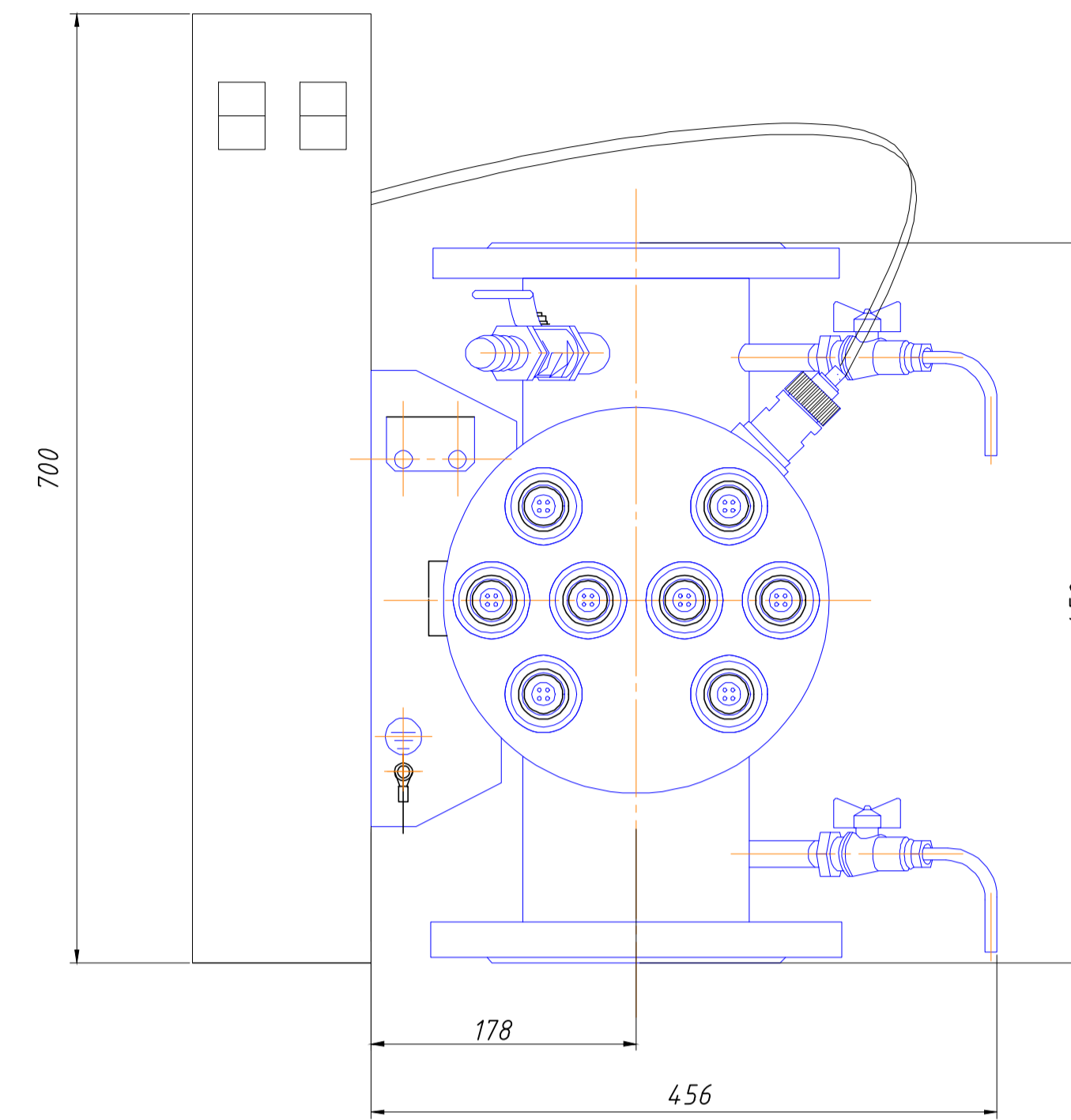
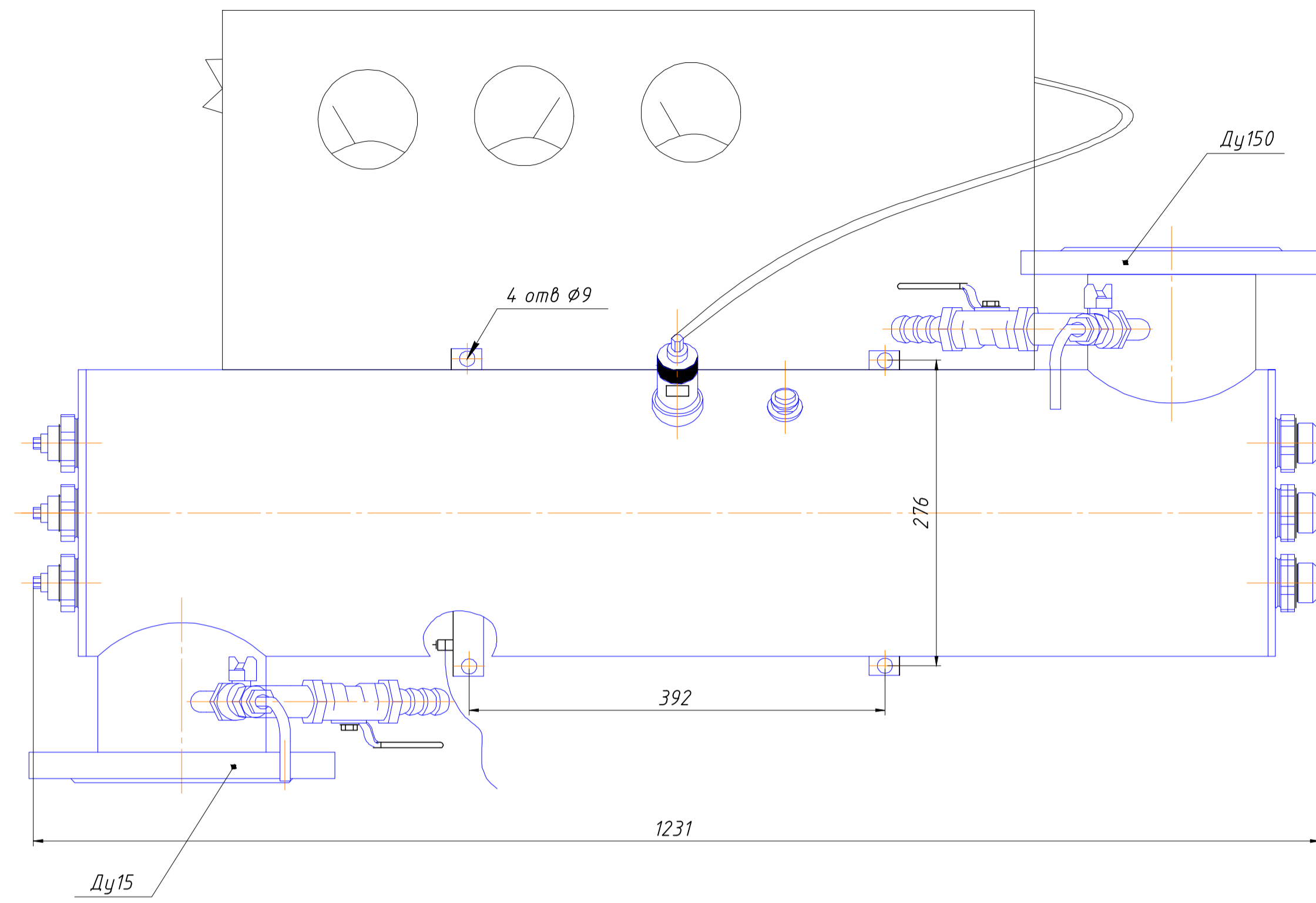


## Технические характеристики

Диаметр, мм	2600
Высота, мм	5380
Масса, кг	5500
Рабочее давление, МПа	0,6
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	230

БР - 20.03.02 2021					
Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разраб.	Ускова				
Руководит.	Бобрик				
Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае				Стадия	Лист
					5
					6
Н. контр. Зав. каф. Бобрик Матюшенко				Схема сорбционного фильтра	
				Кафедра ИСЭиС	

# Камера обезораживания



						<b>БР - 20.03.02 2021</b>			
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в Красноярском крае	Стадия	Лист	Листов
Разработчик	Ускова							6	6
Руководитель	Бобрик								
Н. контр.	Бобрик					Камера обезораживания	Кафедра ИСЭиС		
Зав. каф.	Матюшенко								


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно - строительный  
институт

Инженерные системы зданий и сооружений  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.И. Матюшенко

подпись      инициалы, фамилия

«27» 06 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

20.03.02 «Природообустройство и водопользование» профиль 20.03.02.06  
"Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и  
водоотведения"

Оптимизация систем водоснабжения предприятий малой энергетики в  
Красноярском крае  
тема

Руководитель

  
подпись, дата

ст.преподаватель  
должность, ученая степень

А.Г.Бобрик  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Е.В.Ускова  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата

А.Г.Бобрик  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021