

Т.А. Лупина

К.В. Симонов

2026

Гидравлический расчет напорных трубопроводов с применением системы Mathcad

Учебное пособие



УДК 628.1
ББК 38.761
Л 852

Авторы:

Лупина Татьяна Авинеровна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия.

Симонов Константин Владимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия.

Рецензент:

Шехирев Е.А. – технический директор Общества с ограниченной ответственностью «ВСМ Две Столицы».

Лупина, Татьяна Авинеровна

Симонов, Константин Владимирович

Л 852 Гидравлический расчет напорных трубопроводов с применением системы Mathcad. Учебное пособие – М.: Мир науки, 2026 г. – Сетевое издание. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/25MNNPU26.pdf> – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-908127-24-0

DOI: 10.15862/25MNNPU26

В учебном пособии рассмотрено применение наиболее востребованной для научно-технических вычислений системы компьютерной математики *Mathcad* для решения задач проектирования и расчета систем водоснабжения на железнодорожном транспорте. В издании представлены методика и теоретические основы гидравлического расчета напорных трубопроводов, общие сведения о программном продукте *Mathcad*, рассмотрены особенности интерфейса и основные возможности программы.

Пособие предназначено для студентов специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», специализации «Строительство магистральных железных дорог» и «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» и рекомендуется к использованию при выполнении расчетно-графической работы по теме «Гидравлический расчет напорных трубопроводов» по дисциплине «Гидравлика и гидрология». Издание может быть полезно научным и инженерно-техническим работникам научно-исследовательских и проектных организаций, а также служб эксплуатации.

Табл. 10, рис. 120, библиогр. назв. 12

К.т.н., доц. Лупиной Т.А. написаны введение и главы 1-5.

К.т.н., доц. Симоновым К.В. написана глава 6.

Издание распространяется под лицензией Creative Commons CC BY 4.0

ISBN 978-5-908127-24-0

© Лупина Татьяна Авинеровна
© Симонов Константин Владимирович
© ООО Издательство «Мир науки», 2026 г.

Оглавление

Введение	5
1. Схемы организации водоснабжения строительных площадок	7
2. Особенности расчета различных видов трубопроводов	11
3. Теоретические основы. Определение гидравлического уклона и удельного сопротивления трубопровода	14
4. Методика гидравлического расчета напорных трубопроводов	20
4.1. Определение диаметра водозаборной линии (самотечной линии, дюкера, сифона)	20
4.2. Определение отметки свободной поверхности воды в сборном колодце	20
4.3. Определение отметки наиболее возвышенной точки (предельной отметки) сифона	24
4.4. Определение диаметра всасывающей линии	26
4.5. Определение отметки оси насоса	26
4.6. Определение диаметра водовода	28
4.7. Определение напора, развиваемого насосом	28
4.8. Определение мощности на валу насоса	33
4.9. Расчет разводящей сети	33
4.9.1. Определение расходов на отдельных участках разводящей сети	33
4.9.2. Определение магистрального направления	36
4.9.3. Определение диаметра для каждого участка магистрального направления	38
4.9.4. Определение потерь напора на всех участках магистрального направления	38
4.9.5. Определение пьезометрических напоров во всех узлах, находящихся на магистральном направлении	39
4.9.6. Определение свободных напоров во всех точках водопотребления, находящихся на магистрали	39
4.9.7. Расчет ответвлений от магистрали	39
5. Графическая часть расчетной работы	40
5.1. Построение напорной и пьезометрической линий для трубопровода от источника водоснабжения до сборного колодца	40
5.1.1. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле самотечной линии для варианта А	41
5.1.2. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле дюкера для варианта задания Б	42
5.1.3. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле сифона для варианта В	44
5.1.4. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле сифона для варианта задания Г	44
5.2. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода для вариантов задания Б, В и Г	46

5.2.1. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 9-14 для варианта Б.....	46
5.2.2. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 5-6-10 для варианта В	47
5.2.3. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 7-10 для варианта Г.....	48
5.3. Построение пьезометрической линии на продольном профиле разводящей сети (магистрального направления).....	49
6. Методика автоматизированных расчетов.....	51
6.1. Краткое описание интерфейса Mathcad	51
6.2. Процедура вычислений.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	142
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	151
ЛИТЕРАТУРА.....	153

Введение

В условиях широкого строительства и совершенствования систем водоснабжения на железнодорожном транспорте особую актуальность приобретают вопросы повышения точности гидравлического расчета трубопроводов подачи и распределения воды, которые составляют основную стоимость этих систем.

Настоящее учебное пособие разработано для выполнения студентами специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», специализации «Строительство магистральных железных дорог» и «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» Института пути, строительства и сооружений РУТ (МИИТ) расчетно-графической работы по дисциплине «Гидравлика и гидрология» на тему «Гидравлический расчет напорных трубопроводов» применительно к водоснабжению строительных площадок.

Благодаря четырем рассмотренным вариантам задания А, Б, В и Г (возможным схемам водоснабжения строительных площадок) и выбору материала труб из трех наиболее широко применяемых в водоснабжении (стальные, чугунные, асбестоцементные) разработано 240 индивидуальных вариантов задания, Приложения 1 и 2. В результате каждый студент получает возможность решать персональную задачу.

Изложенные в пособии подробно методика гидравлического расчета напорных трубопроводов и теоретические основы этого расчета позволяют студентам получить в одном издании максимальную информацию по данному вопросу, включая необходимые справочные данные, как например, диаметры труб, принятые по ГОСТ, Приложение 3. Кроме того, учебное пособие составлено таким образом, что предоставляет студентам возможность освоить и «ручной», и автоматизированный способ расчета.

О преимуществах автоматизированного расчета над «ручным» известно давно. Однако нельзя забывать и о том, что при автоматизированном расчете сложных технических систем, с применением программ, написанных на языках программирования высокого уровня, студенту остается только ввести исходные данные и получить результат расчета. При этом многочисленные математические, логические связи и зависимости подсистем и элементов систем между собой остаются невидимыми. Это снижает уровень понимания студентами изучаемого материала. Этим недостатком лишена популярная система компьютерной математики *Mathcad*, которая во всем мире признана лучшей системой для научно-технических вычислений. Ее отличает простой и удобный пользовательский интерфейс, позволяющий организовать интуитивно предсказуемый диалог с системой на общепринятом языке математических формул [10, 11]. Система *Mathcad* имеет мощные средства для реализации численных методов расчета и математического моделирования в сочетании с возможностью выполнения многих операций символьной математики (компьютерной алгебры). Все это дополняется средствами визуализации вычислений – от представления исходных данных и результатов вычислений в естественном математическом виде до мощной цветной графики. Поэтому для автоматизации гидравлических расчетов была применена система *Mathcad*.

Непосредственное использование методики «ручного» расчета с использованием специальных таблиц не представлялось возможным. Поэтому пришлось разработать специальную методику и соответствующие алгоритмы автоматизированного выполнения гидравлических расчетов, исключающие использование таблиц, кроме размеров труб по ГОСТ, которые включены в программу расчета. Заканчиваются расчеты автоматическим построением графиков, характеризующих их результаты.

В учебном пособии приведены исходные тексты документов *Mathcad*, содержащие последовательности расчетов по всем вариантам заданий. Наглядность их такова, что даже при отсутствии необходимого для расчетов персонального компьютера, студент может лишь по приведенным в документах алгоритмам выполнить необходимые расчеты с

использованием калькулятора. Отличительной чертой системы *Mathcad* является подготовка документа, объединяющего в себе задание исходных данных, математическое описание их обработки и результаты вычислений в виде числовых данных, таблиц или графиков. Для удобства пользователей все сформированные авторами документы-шаблоны имеют единую форму представления. Так блоки, реализующие ввод исходных данных, выделены желтым цветом, а блоки с результатами расчетов окрашены голубым цветом и заключены в рамку.

Из [9] известно, что определение отметок водопровода производится путем составления уравнений движения жидкости Д. Бернулли. Однако в приведенных текстах документов эти уравнения в начальном виде отсутствуют, а присутствует лишь конечный их вид. Первоначальный вид уравнений Д. Бернулли и переход к конечному виду студент должен уметь записать при защите расчетно-графической работы. Кроме того, при защите работы студент должен по просьбе преподавателя схематически изобразить на соответствующем компьютерном графике: самотечную линию, сифон, дюкер или линию земли с указанием соответствующих отметок в точках перелома, а также начала и конца их.

Приведенная методика автоматизированного гидравлического расчета напорных трубопроводов позволяет пользователям в десятки раз сократить затраты труда, избежать повторных расчетов и возможных ошибок, значительно повышает надежность получаемых результатов.

При работе над настоящим учебным пособием авторами были использованы материалы кафедр «Гидравлика и водоснабжение» и «Путь и путевое хозяйство», издаваемые начиная с 1999 года в качестве учебно-методических пособий к лабораторным работам и практическим занятиям по дисциплинам «Гидравлика и гидрология» и «Водоснабжение и водоотведение» [3, 5, 6, 7, 8, 9]. Материалы эти были существенно переработаны, дополнены и адаптированы к современному программному обеспечению, используемому студентами в компьютерных аудиториях университета.

1. Схемы организации водоснабжения строительных площадок

Часто в практике строительства возникает потребность в обеспечении строительных площадок водой. Расчетно-графическая работа (РГР) «Гидравлический расчет напорных трубопроводов» по дисциплине «Гидравлика и гидрология» предоставляет возможность более детально, практически освоить методику гидравлических расчетов напорных трубопроводов применительно к водоснабжению строительных площадок.

В качестве вариантов водоснабжения строительных площадок ниже приведены четыре возможные схемы организации водоснабжения в зависимости от местных условий и возможностей строительных организаций.

Водоснабжение строительной площадки по **варианту А** (рисунок 1.1) осуществляется следующим способом. Водопроводная сеть тупикового типа. Вода из реки «А» по самотечной линии 1-2 поступает в колодец «Б». Самотечная линия уложена горизонтально и снабжена предохранительной сеткой 1. Из колодца «Б» вода всасывается по трубе 3-4 насосом «В» и нагнетается по водоводу 5-6 в резервуар водонапорной башни «Г». Из башни по разводящей сети труб вода поступает в пункты потребления 10, 11, 12 и 13, расположенные на территории строительной площадки «Д».

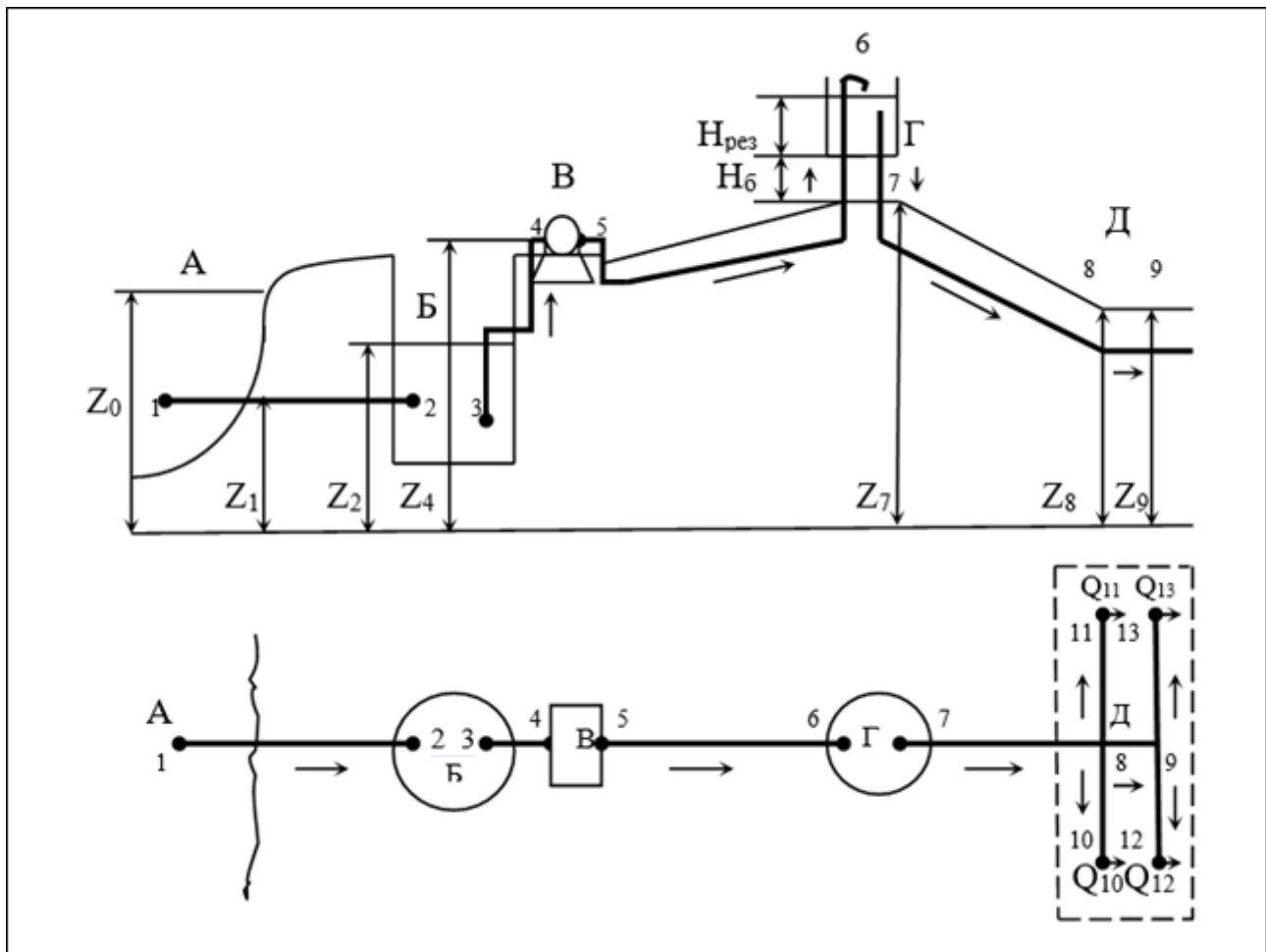


Рисунок 1.1 – Вариант А

В соответствии с заданием забор воды осуществляется из открытого источника через предохранительную сетку, которая защищает систему водоснабжения от попадания в нее посторонних тел (ветки, щепки, мусор, рыба и т.п.) и располагается на конце самотечной трубы. Самотечная труба служит для подведения воды самотеком ближе к напорной станции

[1]. Движение воды в самотечной трубе осуществляется за счет разности уровней в реке и колодце, обусловленной понижением уровня воды в колодце при работе насоса.

Береговой колодец – резервуар, из которого насосом забирают воду [1]. Предварительно в нем происходит механическая очистка воды. Внутри колодца располагаются мелкие сетки, которые задерживают плавучие частицы, прошедшие через предохранительную сетку на входе в самотечную трубу. Кроме того, береговой колодец служит для удобства осмотра и очистки самотечной и всасывающей труб, а также для осмотра приемного клапана, расположенного на конце всасывающей трубы.

Всасывающая линия служит для перемещения воды от колодца к насосу [1]. Насос, увеличивая напор воды, обеспечивает ее подачу по водоводу к водонапорной башне. Водонапорная башня – это резервуар для хранения запаса воды (в т. ч. аварийного и для пожаротушения), для создания напора в разводящей сети и для регулирования расхода [1]. Разводящая сеть представляет собой систему труб, поставляющих воду к пунктам ее непосредственного потребления [1].

Водоснабжение строительной площадки по **варианту Б** (рисунок 1.2) осуществляется следующим образом. Водонапорная сеть тупиковая. Вода из водоприемного ковша «А» по дюкеру 1-2-3-4-5-6 подается в колодец «Б», откуда насосом «В» по трубе 7-8 засасывается и по водоводу 9-10-11-12-13-14, состоящему из двух параллельных трубопроводов с переключениями, нагнетается в резервуар водонапорной башни «Г». Из башни «Г» по разводящей сети труб вода поступает к пунктам водопотребления 16, 17, 18, 19, расположенным на территории строительной площадки «Д».

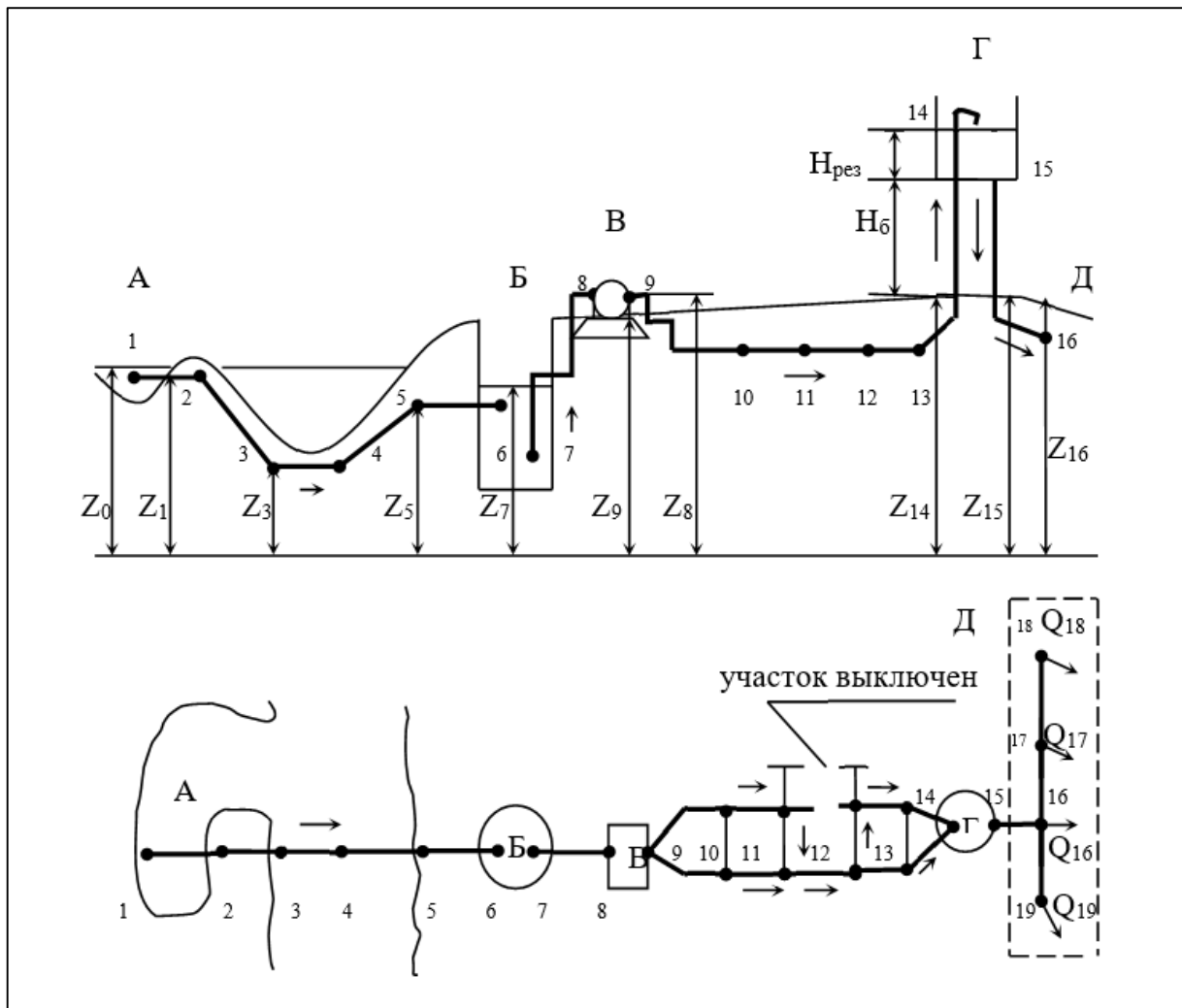


Рисунок 1.2 – Вариант Б

Применение дюкера для подачи воды из водоприемного ковша в колодец обусловлено необходимостью пересечь реку [1]. Таким образом, дюкер представляет собой водопроводную линию, имеющую резкий прогиб в профиле. Движение воды в дюкере осуществляется под воздействием разности уровней в ковше и колодце при работе насоса. Последующая схема движения воды и основные сооружения аналогичны варианту А.

Вариант В (рисунок 1.3) - сеть тупикового типа. Вода из реки «А» по сифону 1-2 поступает в колодец «Б», из которого насосом «В» всасывается по линии 3-4 и нагнетается по водоводу 5-6-10 в резервуар водонапорной башни «Д», если при этом на строительной площадке «Г» не расходуется вода. Когда насос не работает, вода из резервуара водонапорной башни через разводящую сеть труб поступает к точкам потребления 6, 7, 8, 9.

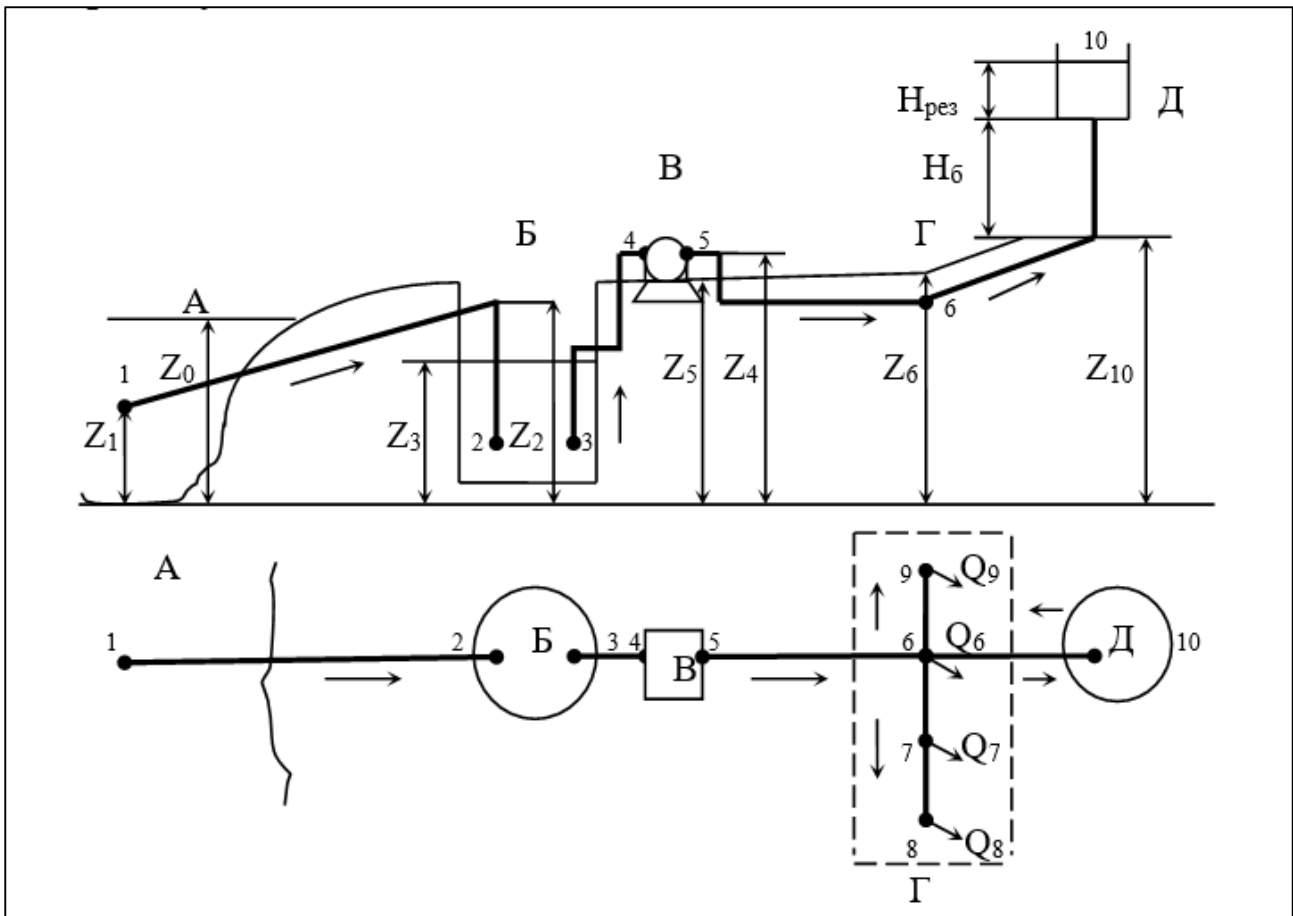


Рисунок 1.3 – Вариант В

В тех случаях, когда большая разница отметок наивысшего (в реке) и наинизшего (в колодце) горизонтов воды требует укладки самотечных линий в дорогостоящие глубокие траншеи, их заменяют сифонными водозаборными линиями [1]. Движение воды в сифоне обуславливается разностью давлений во входном сечении сифона и его наивысшей точке. Именно разрежение (вакуум), возникающее в колене сифона, заставляет воду подниматься вверх по трубе. Остальные сооружения данной схемы водоснабжения аналогичны варианту А.

Водоснабжение строительной площадки «Е» по **варианту Г** (рисунок 1.4) осуществляется следующим образом. Водонапорная сеть тупиковая. Вода из двух шахтных колодцев «А» и «Б» по сифонам 1-2 и 4-3 поступает в сборный колодец «В», откуда по линии 5-6 засасывается насосом «Г» и по водоводу 7-8-9-10 нагнетается в резервуар водонапорной башни «Д». Из башни «Д» по разводящей сети труб вода поступает к пунктам ее потребления 12, 13, 14, 15. В данном варианте представлена схема водоснабжения с забором воды из подземных источников. Для получения подземных вод из безнапорных и слабо напорных водоносных пластов при неглубоком их залегании (до 10...30 м) применяются шахтные

колодцы [1]. Из них вода по сифонным линиям попадает в сборный колодец, где хранится ее запас. Если вода из подземного источника хорошего качества, то водоснабжение осуществляется без очистки воды. Остальные сооружения данной схемы водоснабжения те же, что и в ранее рассмотренных вариантах.

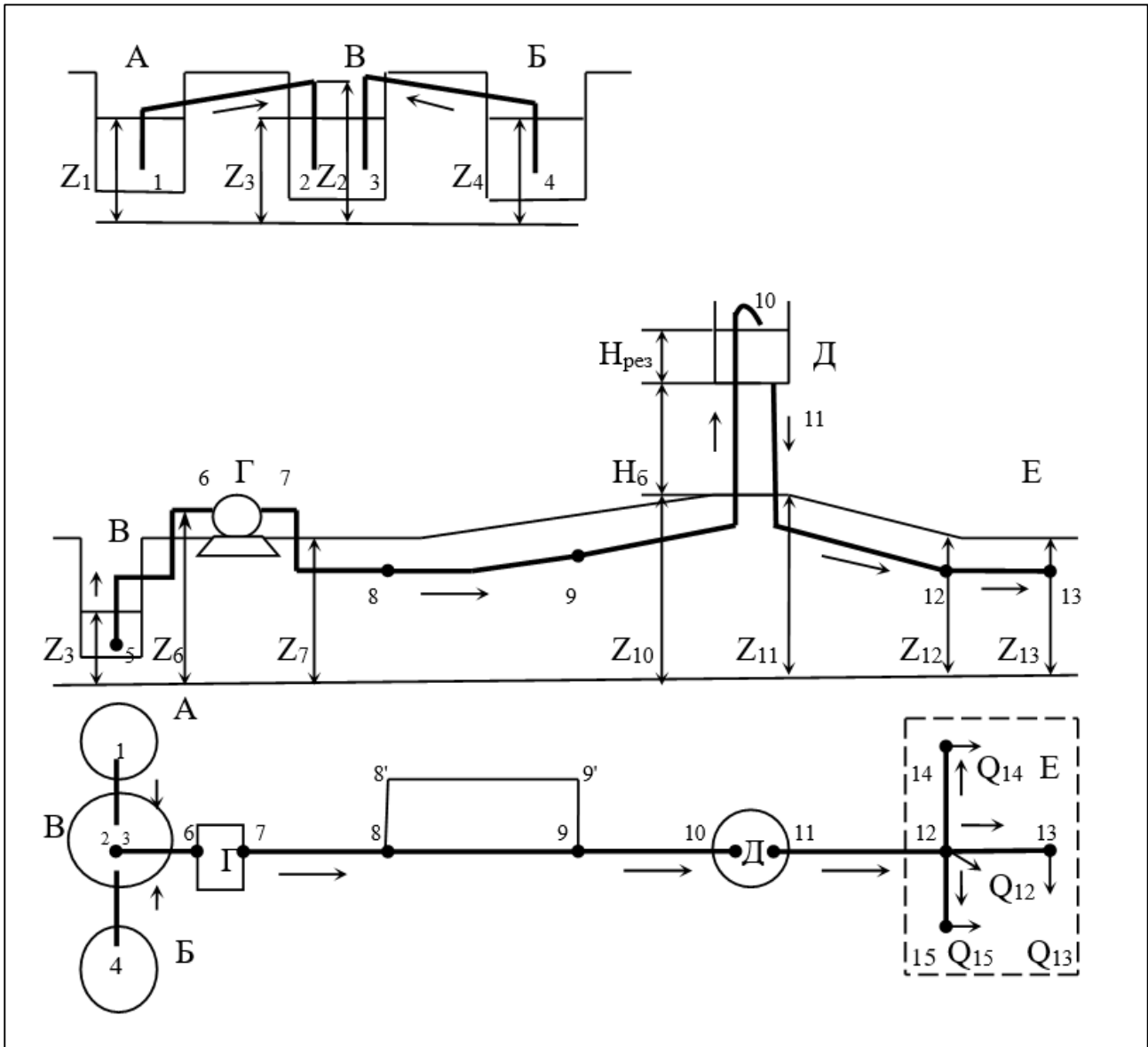


Рисунок 1.4 – Вариант Г

2. Особенности расчета различных видов трубопроводов

Рассмотренные схемы водоснабжения (варианты А, Б, В, Г) имеют свои отличительные особенности, но в состав каждой из них входят четыре участка (или этапа) водоснабжения, расчет которых производят аналогично:

- 1 – водозаборная линия (самотечная линия, дюкер, сифон);
- 2 – всасывающая линия;
- 3 – водовод;
- 4 – разводящая сеть.

Движение жидкости в напорных трубопроводах обусловлено разностью напоров в начальном и конечном живых сечениях трубы. Разность напоров может быть создана с помощью насоса (всасывающая линия, водовод), за счет разности уровней воды в источнике водоснабжения и сборном колодце, которая также поддерживается работой насоса (водозаборная линия), за счет уровня воды в водонапорной башне (разводящая сеть) [2, 4].

Различают напорные трубопроводы: простые и сложные. Трубопровод без ответвлений, из труб одного диаметра и материала называют простым (водозаборная и всасывающая линии, водовод в варианте А). Остальные трубопроводы относят к сложным (водоводы в вариантах Б, В и Г, разводящая сеть). Они бывают с последовательным (водоводы вариантов В и Г) и параллельным (водоводы вариантов Б и Г) соединением труб, а также с непрерывной и транзитной раздачей жидкости.

Кроме того, в зависимости от соотношения между местными потерями и потерями по длине трубопроводы подразделяют на гидравлически короткие и длинные. Если местные потери напора составляют более 5...10% от потерь напора по длине, трубопроводы называют короткими (водозаборные и всасывающие линии), если – менее 5...10%, то трубопроводы называют длинными (водоводы, разводящая сеть).

При гидравлическом расчете различных видов напорных трубопроводов важно уметь правильно определять потери напора.

Основные формулы для расчета потерь напора при движении жидкости в трубах, следующие [2, 4]:

- потери по длине потока

$$h_{\ell} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (2.1)$$

- местные потери

$$h_m = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (2.2)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

ℓ – длина рассматриваемого участка трубопровода;

d – диаметр трубопровода;

V – средняя скорость потока;

ζ – коэффициент местного гидравлического сопротивления;

g – ускорение свободного падения.

Если трубопровод гидравлически короткий, общую потерю напора в нем находят путем простого суммирования отдельных видов потерь напора: по длине трубопровода и местных потерь

$$h_w = \sum h_{\ell} + \sum h_m. \quad (2.3)$$

При расчете длинных трубопроводов местные потери не учитывают вообще или учитывают, суммарно увеличивая сопротивление по длине на 5...10%

$$h_w = (1,05 \dots 1,10) \cdot h_{\ell}. \quad (2.4)$$

Расчет простых трубопроводов производят с использованием зависимостей (2.1), (2.2), (2.3). При определении потерь напора в сложных трубопроводах есть свои особенности.

Например, при последовательном соединении труб разного диаметра общую потерю напора находят сложением потерь на всех участках трубопровода [2, 4]

$$h_w = \sum_{k=1}^n h_{w_k} \quad (2.5)$$

При параллельном соединении труб общая потеря напора во всем соединении равна потере напора в любой ветви (нитке) этого соединения

$$h_w = h_{w_1} = h_{w_2} = \dots = h_{w_n} \quad (2.6)$$

Гидравлический расчет напорных трубопроводов может быть существенно облегчен использованием специальных таблиц, например, «Таблиц для гидравлического расчета водопроводных труб» Ф.А. и А.Ф. Шевелевых [12].

В основу Таблиц [12] положены формулы для определения потерь напора и коэффициента гидравлического трения при турбулентном движении жидкости. Составлены Таблицы применительно к размерам труб, изготавливаемых согласно ГОСТ из различных материалов.

В зависимости от расхода воды и внутреннего диаметра трубы в Таблицах представлены значения средних скоростей потока и гидравлические уклоны. В таблице 2.1 в качестве примера дан фрагмент Таблиц Шевелевых, позволяющий получить представление о работе с ними.

Значения гидравлических уклонов для сокращения (удобства) записи в Таблицах увеличены в 1000 раз. Поэтому при использовании в расчетах табличные значения гидравлических уклонов необходимо уменьшать в 1000 раз.

Таблица 2.1 – Фрагмент Таблиц Шевелевых

Q , л/с	d_1 , мм		d_2 , мм		d_3 , мм	
	V_1	$1000 \cdot i_1$	V_2	$1000 \cdot i_2$	V_3	$1000 \cdot i_3$
Q_1	...	...	...	...	...	...
Q_2	...	...	...	...	...	...
Q_3	1,69	85,0	1,25	52,8	0,89	22,4
Q_4	...	...	...	...	...	...
:	:	:	:	:	:	:
Q_n	...	...	...	...	...	...

Наиболее широко Таблицы Шевелевых используют для подбора диаметров участков водопроводной сети в зависимости от расхода и скорости течения на участке. Скорости в расчетно-графической работе заданы интервально, например $V = 1,2 \dots 1,5$ м/с. Необходимо в таблице для заданного материала труб отыскать свое (заданное) значение расхода воды на рассматриваемом участке сети. А далее в строке, соответствующей этому значению расхода, выбирают значение скорости, входящее в заданный интервал, см. таблицу 2.1. Выписывают значения гидравлического уклона и диаметра трубы, соответствующие выбранной скорости.

Так при $Q = Q_3 \rightarrow V = 1,25$ м/с; $1000 \cdot i = 52,8$; $d = d_2$ мм.

Если таблица не содержит точного значения заданного расхода, то для определения значений скорости и уклона необходимо воспользоваться методом интерполяции.

При расчете разводящей сети возникает необходимость в подборе диаметров труб по заданному расходу и среднему гидравлическому уклону для магистрального направления. Тогда в строке, соответствующей заданному значению расхода, выбирают табличное значение

уклона i_T , ближайшее к заданному, но в то же время, если магистраль состоит из нескольких участков:

- несколько меньше i_{cp} - на начальных по направлению воды участках;
- несколько больше i_{cp} - на конечных участках.

Если магистральное направление состоит из одного участка, из таблицы выбирают значение гидравлического уклона i_T наиболее близкое, но меньшее среднего i_{cp} . После чего выписывают значение диаметра d , соответствующее выбранному табличному уклону i_T .

3. Теоретические основы. Определение гидравлического уклона и удельного сопротивления трубопровода

Для гидравлического расчета водопроводных труб обычно используют формулу [12]

$$i = \lambda \cdot \frac{1}{d_p} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (3.1)$$

где i – гидравлический уклон, соответствующий потере напора в мм на 1м или в м на 1км длины трубопровода;

d_p – расчетный внутренний диаметр трубы, м;

V – средняя скорость движения воды, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

λ – коэффициент гидравлического трения.

Для использования формулы (3.1) необходимо знать зависимости для определения коэффициента λ , которые для разных материалов и сроков работы труб разные [12].

Для новых стальных труб

$$\lambda = \frac{0,312}{d_p^{0,226}} \cdot \left(1,9 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{V}\right)^{0,226}, \quad (3.2)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с.

Для гидравлического расчета водопроводных труб с достаточной для практических целей точностью можно принять $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с [12], что соответствует температуре воды 10°C.

При этом формула (3.2) примет вид

$$\lambda = \frac{0,0159}{d_p^{0,226}} \cdot \left(1 + \frac{0,684}{V}\right)^{0,226}. \quad (3.3)$$

Для новых чугунных труб

$$\lambda = \frac{0,863}{d_p^{0,284}} \cdot \left(0,55 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{V}\right)^{0,284} \quad (3.4)$$

или, приняв $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с,

$$\lambda = \frac{0,0144}{d_p^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{V}\right)^{0,284}. \quad (3.5)$$

Подстановка в формулу (3.1) значений λ , определяемых выражениями (3.3) и (3.5), дает следующие расчетные формулы:

для новых стальных труб

$$i = 0,000810 \cdot \frac{V^2}{d_p^{1,226}} \cdot \left(1 + \frac{0,684}{V}\right)^{0,226}, \quad (3.6)$$

для новых чугунных труб

$$i = 0,000734 \cdot \frac{V^2}{d_p^{1,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{V}\right)^{0,284}. \quad (3.7)$$

Для новых стальных и чугунных водопроводных труб

при $\frac{V}{\nu} \geq 9,2 \cdot 10^5$ 1/м

$$\lambda = \frac{0,0210}{d_p^{0,3}}, \quad (3.8)$$

при $\frac{V}{\nu} < 9,2 \cdot 10^5$ 1/м

$$\lambda = \frac{1}{d_p^{0,3}} \cdot \left(1,5 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{V}\right)^{0,3} \quad (3.9)$$

или, приняв $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$,

$$\lambda = \frac{0,0179}{d_p^{0,3}} \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V}\right)^{0,3}. \quad (3.10)$$

Если на стенках стальных и чугунных труб отсутствуют заметные признаки коррозии или отложений, их можно относить к так называемым новым трубам. В противном случае шероховатость стенок возрастает, что влечет за собой увеличение коэффициента λ . Такие трубы относят к неновым. Для расчета неновых стальных и чугунных водопроводных труб с естественной шероховатостью применимы формулы (3.8) и (3.9). При этом естественной шероховатостью считается шероховатость, которая по гидравлическому сопротивлению эквивалентна искусственной шероховатости, образуемой нанесением на стенки новых труб песка с зернами крупностью 1 мм, и может быть принята как нормальная [12].

При проверке условий работы только что проложенных водопроводных линий из новых труб, а также в случае принятия специальных мер по предотвращению коррозии и образования отложений на внутренней поверхности стенок труб, гидравлический расчет водопроводных труб можно производить по формулам (3.2) и (3.4). В остальных случаях гидравлический расчет водопроводных труб следует производить по формулам, учитывающим увеличение коэффициента сопротивления труб в процессе эксплуатации [12].

Подстановка в формулу (3.1) значений λ , определяемых выражениями (3.8) и (3.10), дает следующие расчетные формулы для неновых стальных и чугунных водопроводных труб: при $V \geq 1,2 \text{ м/с}$

$$i = 0,00107 \cdot \frac{V^2}{d_p^{1,3}}, \quad (3.11)$$

при $V < 1,2 \text{ м/с}$

$$i = 0,000912 \cdot \frac{V^2}{d_p^{1,3}} \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V}\right)^{0,3}. \quad (3.12)$$

Величина потерь напора может быть подсчитана также по удельному сопротивлению трубопровода [12], которое для неновых стальных и чугунных труб в соответствии с формулой (3.11) определяется выражением

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001735}{d_p^{5,3}}. \quad (3.13)$$

Формула (3.13) справедлива при средней скорости движения воды $V \geq 1,2 \text{ м/с}$. При меньших скоростях удельные сопротивления A необходимо определять с поправкой на неквадратичность зависимости потерь напора от средней скорости движения воды.

В соответствии с формулами (3.11) и (3.12) значения поправочного коэффициента K , учитывающего неквадратичность зависимости потерь напора от средней скорости движения воды, определяются выражением

$$K = 0,852 \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V}\right)^{0,3}. \quad (3.14)$$

В новых стальных и чугунных трубах потери напора также можно определять по удельному сопротивлению.

При обычных скоростях движения воды новые стальные и чугунные водопроводные трубы оказываются работающими в переходной области. Поэтому их удельное сопротивление зависит от скорости движения воды. Для удобства гидравлических расчетов за исходное принимают значение удельного сопротивления, соответствующее скорости движения воды $V = 1 \text{ м/с}$, с введением при других скоростях поправки на неквадратичность зависимости потерь напора от скорости [12]. При скорости движения воды $V = 1 \text{ м/с}$ удельные сопротивления, таким образом, находят с помощью следующих выражений:

– для новых стальных труб (в соответствии с формулой (3.3))

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001478}{d_p^{5,226}}, \quad (3.15)$$

– для новых чугунных труб (в соответствии с формулой (3.5))

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001679}{d_p^{5,284}}. \quad (3.16)$$

При $V \neq 1$ м/с значение A следует умножить на поправочный коэффициент K , который находят следующим образом:

– для новых стальных труб

$$K = 0,889 \cdot \left(1 + \frac{0,684}{V}\right)^{0,226}, \quad (3.17)$$

– для новых чугунных труб

$$K = 0,709 \cdot \left(1 + \frac{2,36}{V}\right)^{0,284}. \quad (3.18)$$

Величины расчетных внутренних диаметров стальных и чугунных водопроводных труб d_p , используемые при определении i и A , приведены в таблицах 3.1, 3.2 [12].

Таблица 3.1 составлена для стальных электросварных труб средних и больших диаметров, выпускаемых по ГОСТ 10704-91 и ГОСТ 8696-74 (>50 мм), а для стальных водогазопроводных труб малых диаметров – по ГОСТ 3262-75 (<50 мм). Для чугунных труб внутренние диаметры установлены по ГОСТ 9583-75 и ТУ 14-3-1247-83, таблица 3.2. Таблицы составлены не для всех диаметров труб, изготовление которых предусмотрено ГОСТами, а для тех из них, которые наиболее часто применяются в системах водоснабжения.

Величины расчетных внутренних диаметров d_p в таблицах 3.1 и 3.2 приведены с учетом допусков при изготовлении и небольшой коррозии материала труб или отложений порядка 1 мм на обе стенки трубы. Для труб небольших диаметров (до 300 мм) таким образом d_p вычисляется в следующем порядке:

1. $d_{\text{внутр}} = d_{\text{наружн}} - 2$ толщины стенки;
2. $d_p = d_{\text{внутр}} - 1$ мм.

Для водопроводных труб больших диаметров (≥ 300 мм) такое уменьшение d_p на 1 мм практического значения не имеет и поэтому не учтено. Таким образом, для труб диаметром 300 мм и более $d_p = d_{\text{внутр}}$. Величины условного прохода указаны для удобства потребителя.

По ГОСТ 3262-75 толщины стенок в таблице 3.1 приняты как для «обыкновенных» труб.

Для гидравлического расчета асбестоцементных труб коэффициент сопротивления трения по длине определяют следующим образом [12]

$$\lambda = \frac{0,184}{d_p^{0,190}} \cdot \left(0,37 \cdot 10^{-6} + \frac{v}{V}\right)^{0,190} \quad (3.19)$$

или, приняв $v = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с,

$$\lambda = \frac{0,011}{d_p^{0,190}} \cdot \left(1 + \frac{3,51}{V}\right)^{0,190}. \quad (3.20)$$

Подстановка в формулу (3.1) значения λ , определяемого выражением (3.20), дает расчетную формулу для асбестоцементных водопроводных труб

$$i = 0,000561 \cdot \frac{V^2}{d_p^{1,190}} \cdot \left(1 + \frac{3,51}{V}\right)^{0,190}. \quad (3.21)$$

Так как асбестоцементные водопроводные трубы при всех практически возможных скоростях движения воды работают в переходной области, для удобства гидравлических расчетов также, как и для новых стальных и чугунных водопроводных труб, в качестве исходного принимают значение удельного сопротивления A при $V = 1$ м/с. Тогда величина

удельного сопротивления определяется в соответствии с формулой (3.21) следующим выражением

$$A = \frac{0,001212}{d_p^{5,190}}. \quad (3.22)$$

Таблица 3.1 – Величины внутренних диаметров для гидравлического расчета стальных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Условный проход d	Наружный диаметр	Толщина стенки	Внутренний диаметр при данной толщине стенки	Расчетный внутренний диаметр d_p
6	10,2	2,0	6,2	5,2
8	13,5	2,2	9,1	8,1
10	17,0	2,2	12,6	11,6
15	21,3	2,8	15,7	14,7
20	26,8	2,8	21,2	20,2
25	33,5	3,2	27,1	26,1
32	42,3	3,2	35,9	34,9
40	48,0	3,5	41,0	40,0
50	70	2,5	65	64
60	76	2,5	71	70
75/65	89	2,5	84	83
80	102	3,0	96	95
100	121	3,0	115	114
125	140	3,0	134	133
150	168	4,5	159	158
175	180	4,5	171	170
200	219	4,5	210	209
250	273	6,0	261	260
300	325	7,0	311	311
350	377	7,0	363	363
400	426	7,0	412	412
450	480	7,0	466	466
500	530	7,0	516	516
600	630	7,0	616	616
700	720	7,0	706	706
800	820	8,0	804	804
900	920	8,0	904	904
1000	1020	8,0	1004	1004
1200	1220	9,0	1202	1202
1400	1420	10,0	1400	1400
1500	1520	10,0	1500	1500
1600	1620	10,0	1600	1600

Поправочный коэффициент K , на который при $V \neq 1$ м/с следует умножать значения A , находят следующим образом

$$K = 0,751 \cdot \left(1 + \frac{3,51}{V}\right)^{0,190}. \quad (3.23)$$

Величины расчетных внутренних диаметров для асбестоцементных труб можно найти через значения удельных сопротивлений A по формуле (3.22). Полученные таким образом значения расчетных внутренних диаметров, используемые в формулах (3.21) и (3.22), для асбестоцементных труб класса ВТ9 типа 1 (ГОСТ 539-80), как наиболее распространенных, приведены в таблице 3.3 [12].

Таблица 3.2 – Величины внутренних диаметров для гидравлического расчета чугунных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Условный проход d	Класс ЛА		Класс А	
	Внутренний диаметр	Расчетный внутренний диаметр d_p	Внутренний диаметр	Расчетный внутренний диаметр d_p
75/65	67,6	66,6	-	-
80	83,6	82,6	-	-
100	103,0	102,0	-	-
125	128,2	127,2	-	-
150	153,4	152,4	-	-
175	-	-	-	-
200	203,6	202,6	-	-
250	254,0	253,0	-	-
300	304,4	304,4	-	-
350	-	-	352,4	352,4
400	-	-	401,4	401,4
450	-	-	450,6	450,6
500	-	-	500,8	500,8
600	-	-	600,2	600,2
700	-	-	699,4	699,4
800	-	-	799,8	799,8
900	-	-	899,2	899,2
1000	-	-	998,4	998,4

Таблица 3.3 – Величины условного прохода и расчетных внутренних диаметров для асбестоцементных труб класса ВТ9 типа 1

Условный проход d , мм	Расчетный внутренний диаметр d_p , мм
100	100
150	141
200	189
250	235
300	279
350	322
400	368
500	456

Для асбестоцементных труб других классов и типов значения i и A , определяемые выражениями (3.21) и (3.22), нужно принимать с поправочными коэффициентами K_1 согласно таблице 3.4 [12].

Как показывает опыт эксплуатации асбестоцементных водопроводных труб, заметного возрастания их шероховатости в процессе эксплуатации не происходит. Благодаря этому для

расчета как новых, так и неновых асбестоцементных водопроводных труб можно пользоваться выражениями (3.21) и (3.22) [12].

Таблица 3.4 – Поправочные коэффициенты K_1 к значениям i и A для асбестоцементных труб других классов и типов

Класс	Тип 1	Тип 2	Тип 3	
	$d=100\div 500$ мм	$d=200\div 500$ мм	$d=200$ мм	$d=300$ мм
BT 6	0,83	-	-	-
BT 9	1,00	0,87	0,79	1,00
BT 12	1,20	1,06	0,92	1,19
BT 15	-	1,26	1,54	1,56

4. Методика гидравлического расчета напорных трубопроводов

Перед тем, как приступить к выполнению задания, необходимо определить все исходные величины. Их находят с помощью приведенных в бланке задания формул с использованием условного числа N , указанного преподавателем.

4.1. Определение диаметра водозаборной линии (самотечной линии, дюкера, сифона)

При определении диаметра трубы необходимо учитывать рекомендуемую среднюю скорость V , приведенную в задании, и расход воды, проходящий по трубе.

Для вариантов водоснабжения строительной площадки А, Б и В по рассматриваемому трубопроводу будет проходить расход воды, равный расходу, подаваемому насосом. В варианте Г вода в сборный колодец поступает сразу по двум сифонам. Таким образом, по каждому из сифонов будет проходить расход воды, равный половине расхода, подаваемого насосом.

Диаметр круглых труб определяют с помощью следующего выражения

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} = 35,7 \cdot \sqrt{\frac{Q}{V}}, \quad (4.1)$$

где d – диаметр трубы, мм;

Q – расход воды, проходящий по трубе, л/с, указан в задании, Приложение 1;

V – рекомендуемая средняя скорость, м/с, Приложение 1.

Полученную величину диаметра трубы необходимо округлить до ближайшего большего расчетного стандартного значения d_p с помощью таблиц 3.1, 3.2, 3.3 для стальных, чугунных и асбестоцементных труб соответственно.

Затем уточняют скорость течения воды в трубе принятого диаметра d_p по формуле

$$V_p = \frac{1270 \cdot Q}{d_p^2}, \quad (4.2)$$

в которой размерности те же, что и в формуле (4.1).

По уточненным таким образом значениям диаметра трубы d_p и скорости течения воды в ней V_p далее определяют величину гидравлического уклона i с помощью выражений (3.6) и (3.7) – для новых стальных и чугунных труб; (3.11) и (3.12) – для неновых стальных и чугунных труб; (3.21) – для труб асбестоцементных.

4.2. Определение отметки свободной поверхности воды в сборном колодце

Колодец соединен с источником водоснабжения (рекой, водоприемным ковшом, шахтным колодцем – в зависимости от варианта задания) водозаборной линией (самотечной линией, дюкером или сифоном) так, что они представляют собой два сообщающихся резервуара. По водозаборной линии вода движется самотеком в результате понижения уровня воды в колодце при работе насоса.

Рассмотрим последовательно схемы водозаборных линий для каждого варианта задания.

Для варианта А – это самотечная линия (рисунок 4.1).

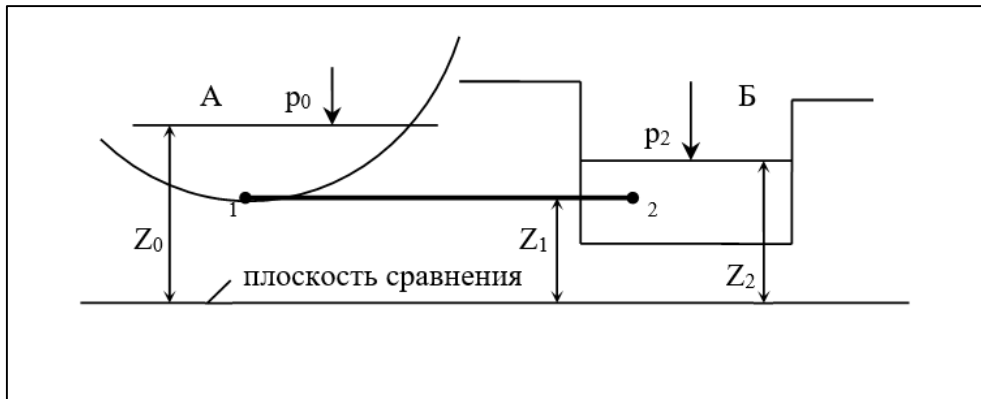


Рисунок 4.1 – Самотечная линия

Для определения отметки поверхности воды в гидравлических системах используют уравнение Д. Бернулли [2, 4]. В данном случае это уравнение удобно записать применительно к двум сечениям потока, совпадающим с уровнями воды в источнике водоснабжения «А» и в колодце «Б». Плоскость сравнения удобно совместить с плоскостью, от которой ведется отсчет всех отметок в задании [9].

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w_{0-2}}, \quad (4.3)$$

где Z – в общем случае геометрическая высота расположения центра тяжести рассматриваемого сечения над плоскостью сравнения;

p – давление в рассматриваемом сечении потока;

γ – удельный вес жидкости;

g – ускорение свободного падения;

V – средняя по сечению скорость потока;

α – коэффициент Кориолиса;

h_w – потеря напора (удельной энергии жидкости) между рассматриваемыми сечениями.

Искомая отметка свободной поверхности воды в колодце «Б» – Z_2 . Находят ее, выразив из уравнения Д. Бернулли

$$Z_2 = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - h_{w_{0-2}}, \quad (4.4)$$

где Z_0 – отметка уровня воды в реке «А» – известна, см. исходные данные, Приложение 1;

p_0 – давление на свободную поверхность воды в реке «А» равно атмосферному ($p_0 = p_a$);

p_2 – давление на свободную поверхность воды в колодце «Б» равно атмосферному ($p_2 = p_a$);

$\frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}$ и $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$ – скоростные напоры в рассматриваемых сечениях потока. Поскольку скорости движения в источнике водоснабжения и колодце обычно бывают невелики, величинами скоростных напоров в данном случае можно пренебречь

$$\left(\frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \approx \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \approx 0 \right).$$

С учетом вышесказанного

$$Z_2 = Z_0 - h_{w_{0-2}}. \quad (4.5)$$

Таким образом, задача сводится, собственно, к определению $h_{w_{0-2}}$ – суммарных потерь напора в трубопроводе, соединяющем источник водоснабжения с колодцем, т.е. в самотечной линии для варианта А.

Так как самотечную линию (дюкер, сифон) относят обычно к гидравлически коротким трубопроводам, то суммарную (общую) потерю напора в них определяют путем простого суммирования отдельных видов потерь напора, см. (2.1), (2.2), (2.3) и (3.1)

$$h_w = h_\ell + \sum h_m. \quad (4.6)$$

Потери напора по длине трубопровода h_ℓ могут быть найдены по формуле

$$h_\ell = i \cdot \ell, \quad (4.7)$$

где i – гидравлический уклон, значение которого в соответствии с выбранным диаметром трубы и скоростью течения воды в ней определяют для водозаборной линии в п. 4.1;

ℓ – длина трубы (самотечной линии, дюкера, сифона), указана в задании, Приложение 1.

Суммарные местные потери напора $\sum h_m$ определяют с учетом всех видов местных сопротивлений, указанных в задании для данного трубопровода. Так для самотечной линии – это предохранительная сетка и сопротивление на выходе из трубы. Таким образом,

$$\sum h_m = (\zeta_c + \zeta_{\text{вых}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.8)$$

где ζ_c и $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициенты местных сопротивлений сетки и на выходе из трубы, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды в трубе, подсчитывают по формуле (4.2), п. 4.1.

Подставляя найденное с помощью формул (4.6), (4.7), (4.8) значение потерь напора в уравнение (4.5) и решая его, определяют искомую отметку поверхности воды в колодце с точностью до 0,01 м.

В варианте Б водозаборная линия – это дюкер (рисунок 4.2).

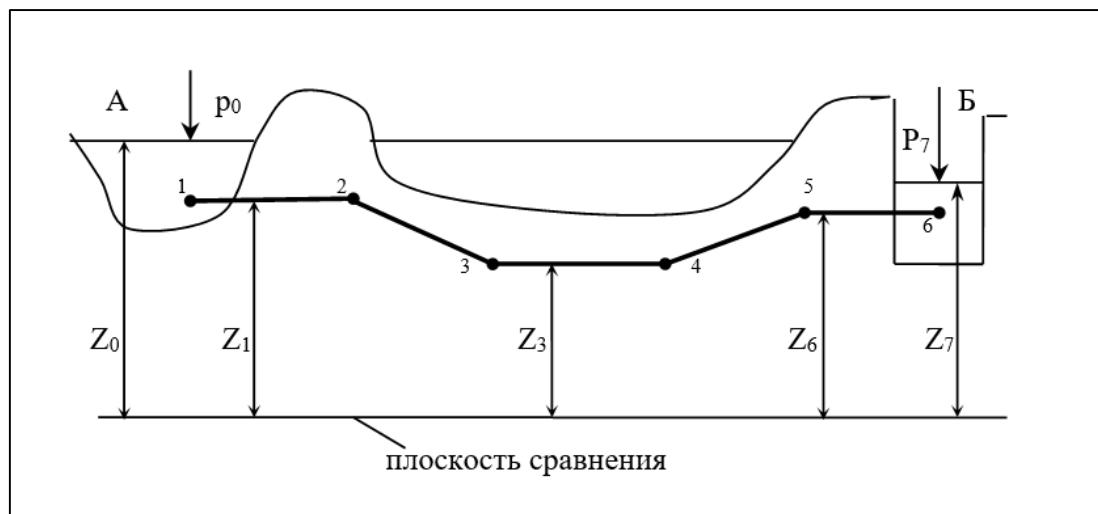


Рисунок 4.2 – Дюкер

Для определения отметки свободной поверхности воды в колодце «Б» Z_7 составляют уравнение Д. Бернулли для двух сечений потока, совпадающих с уровнями воды в источнике водоснабжения – водоприемном ковше «А» и в колодце «Б»

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = Z_7 + \frac{p_7}{\gamma} + \frac{\alpha_7 V_7^2}{2g} + h_{w_{0-7}}. \quad (4.9)$$

Так как

$$p_0 = p_7 = p_a; \quad \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \approx \frac{\alpha_7 V_7^2}{2g} \approx 0$$

в связи с малостью скоростей течения в ковше и колодце, то

$$Z_7 = Z_0 - h_{w_{0-7}}, \quad (4.10)$$

где Z_0 – отметка поверхности воды в ковше «А», см. исходные данные, Приложение 1;

$h_{w_{0-7}}$ – суммарные потери напора в дюкере.

Суммарные потери напора в дюкере находят с помощью выражения (4.6). Потери напора по длине дюкера – с помощью (4.7).

Суммарные местные потери напора для дюкера

$$\sum h_M = (\zeta_{\text{вх}} + 4 \cdot \zeta_{\text{пов}} + \zeta_{\text{вых}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.11)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$, $\zeta_{\text{пов}}$, $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициенты местных сопротивлений на входе, повороте и выходе из дюкера, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды в дюкере, определяют по формуле (4.2), п. 4.1.

Подставляя найденные таким образом значения потерь напора в (4.10), определяют искомую отметку воды в колодце Z_7 .

Вариант В. Водозаборная линия – сифон (рисунок 4.3).

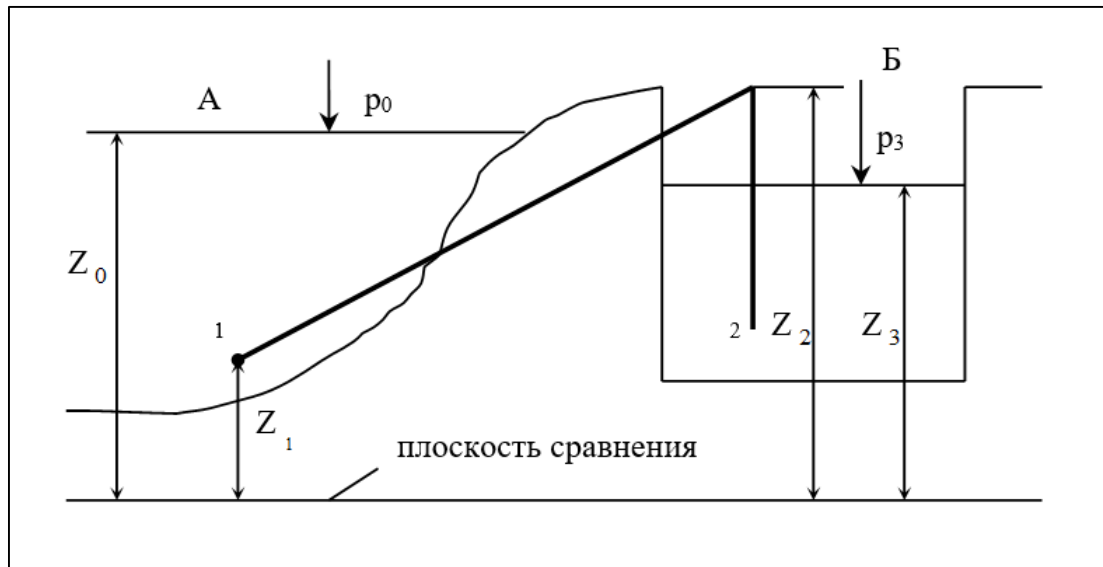


Рисунок 4.3 – Сифон для варианта В

Необходимо определить отметку свободной поверхности воды в колодце «Б» – Z_3 .

Составляют уравнение Д. Бернулли для двух сечений потока, совпадающих со свободной поверхностью воды в реке «А» и в колодце «Б»

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + h_{w_{0-3}}. \quad (4.12)$$

Так как

$$p_0 = p_3 = p_a; \quad \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \approx \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \approx 0$$

в связи с малостью скоростей течения в реке и колодце, то

$$Z_3 = Z_0 - h_{w_{0-3}}, \quad (4.13)$$

где Z_0 – отметка поверхности воды в реке «А», указана в задании, Приложение 1;

$h_{w_{0-3}}$ – суммарные потери напора в сифоне, определяют по (4.6).

Потери напора по длине сифона находят с помощью (4.7).

Суммарные местные потери напора в сифоне

$$\sum h_M = (\zeta_c + \zeta_{\text{кол}} + \zeta_{\text{вых}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.14)$$

где ζ_c , $\zeta_{\text{кол}}$, $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициенты местных сопротивлений сетки, колена и на выходе из сифона, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1.

В варианте Г водозаборная линия состоит из двух одинаковых сифонов. Для определения отметки свободной поверхности воды Z_3 в сборном колодце «В» достаточно рассмотреть работу одного из этих сифонов (рисунок 4.4).

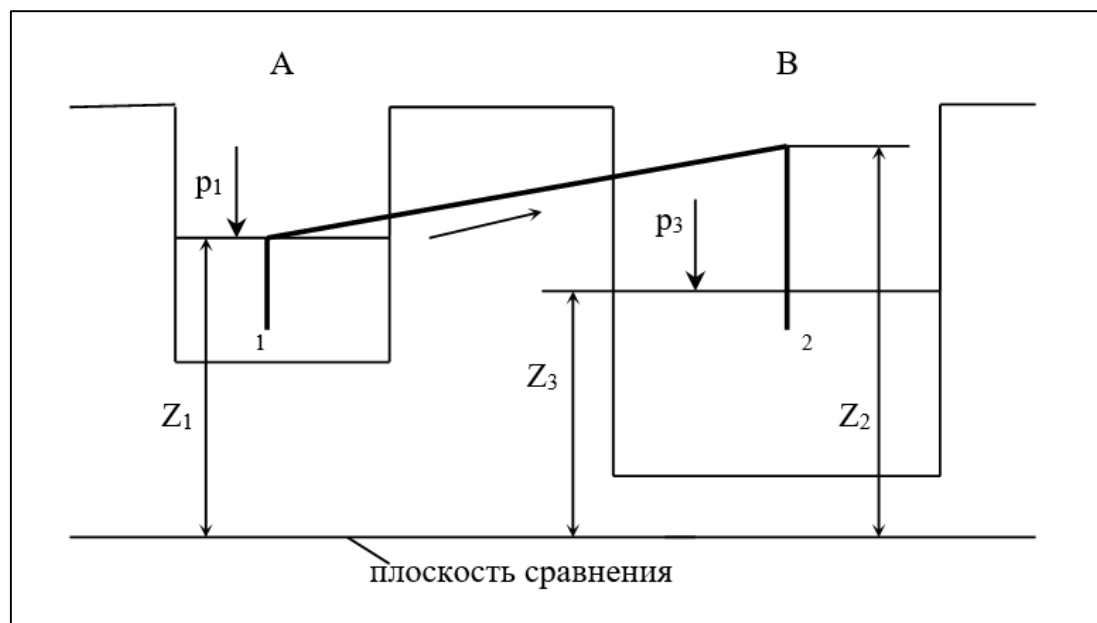


Рисунок 4.4 – Сифон для варианта Г

Составляют уравнение Д. Бернулли для двух сечений потока, совпадающих со свободной поверхностью воды в шахтном колодце «А» и сборном колодце «В»

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + h_{w_{1-3}}. \quad (4.15)$$

В связи с тем, что

$$p_1 = p_3 = p_a; \quad \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \approx \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \approx 0,$$

так как скорости течения в обоих колодцах очень малы, то

$$Z_3 = Z_1 - h_{w_{1-3}}, \quad (4.16)$$

где Z_1 – отметка поверхности воды в колодце «А», см. исходные данные, Приложение 1;

$h_{w_{1-3}}$ – суммарные потери напора в сифоне, определяют по (4.6).

Потери напора по длине сифона находят с помощью (4.7).

Суммарные местные потери напора в сифоне

$$\sum h_M = (\zeta_c + 2 \cdot \zeta_{пов} + \zeta_{вых}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.17)$$

где $\zeta_c, \zeta_{пов}, \zeta_{вых}$ – коэффициенты местных сопротивлений сетки, поворота и на выходе из трубы, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1.

4.3. Определение отметки наиболее возвышенной точки (предельной отметки) сифона

Этот расчет выполняют только для вариантов задания В и Г, в которых водозаборная линия – сифон.

Задачу определения предельной отметки сифона решают также с использованием уравнения Д. Бернулли для двух сечений потока. При этом одно сечение должно совпадать со свободной поверхностью воды в источнике водоснабжения, а другое – соответствовать сечению сифона, для которого требуется определить отметку.

Для определения предельной отметки сифона в варианте задания В, (рисунок 4.3), составляют уравнение Д. Бернулли для двух указанных сечений потока

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w_{0-2}}. \quad (4.18)$$

Величиной скоростного напора в реке «А» можно пренебречь, как малой величиной:

$$\frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \approx 0.$$

А скоростной напор в трубе сифона следует учесть. Давление в наиболее возвышенной части сифона меньше атмосферного, а на свободной поверхности воды в источнике водоснабжения (река «А») – равно атмосферному: $p_0 = p_a$.

С учетом вышесказанного решают уравнение (4.18) относительно Z_2

$$Z_2 = Z_0 + \frac{p_a - p_2}{\gamma} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - h_{w_{0-2}}. \quad (4.19)$$

Необходимо иметь в виду, что

$$\frac{p_a - p_2}{\gamma} = \frac{p_{\text{вак}}}{\gamma} = h_{\text{вак}}, \quad (4.20)$$

где $p_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление;

p_a – атмосферное давление;

p_2 – абсолютное давление в наиболее возвышенной точке сифона, меньше атмосферного;

$h_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота, допустимое значение которой указано в задании,

Приложение 1.

Таким образом, выражение (4.19) для определения предельной отметки сифона приобретает окончательный вид

$$Z_2 = Z_0 + h_{\text{вак}} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - h_{w_{0-2}}, \quad (4.21)$$

где α_2 – коэффициент Кориолиса, $\alpha_2=1,0$;

V_2 – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1;

$h_{w_{0-2}}$ – суммарные потери напора в потоке между рассматриваемыми сечениями, определяют по (4.6);

Z_0 – отметка уровня воды в реке «А», см. исходные данные, Приложение 1.

Потери напора по длине потока находят с учетом того, что в рассматриваемом случае длина трубы сифона должна быть взята в расчет не вся, а лишь та ее часть, которая расположена между принятыми сечениями, то есть за вычетом длины вертикальной части трубы сифона $\ell_{\text{верт}}$, Приложение 1,

$$h_\ell = i \cdot (\ell - \ell_{\text{верт}}). \quad (4.22)$$

То же относится к местным потерям напора. Местные потери напора в изгибе (колене) сифона относят к начальному его участку. Тогда

$$\sum h_m = (\zeta_c + \zeta_{\text{кол}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.23)$$

где $\zeta_c, \zeta_{\text{кол}}$ – коэффициенты местных сопротивлений сетки, колена сифона, см. исходные данные, Приложение 1;

V – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1.

Для определения предельной отметки сифона для варианта задания Г, (рисунок 4.4), составляют уравнение Д. Бернулли для двух вышеупомянутых сечений потока

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}. \quad (4.24)$$

Решают это уравнение относительно Z_2 с учетом того, что

$$p_1 = p_a; \quad \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \approx 0$$

в связи с незначительной скоростью течения в шахтном колодце «А»,

$$Z_2 = Z_1 + \frac{p_a - p_2}{\gamma} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - h_{w_{1-2}}. \quad (4.25)$$

Так как давление в наиболее возвышенной части сифона меньше атмосферного $p_2 < p_a$, то $p_a - p_2 = p_{\text{вак}}$ и согласно (4.20)

$$\frac{p_a - p_2}{\gamma} = h_{\text{вак}},$$

где $h_{\text{вак}}$ – допустимое значение вакуума, указано в задании, Приложение 1.

С учетом этого обозначения окончательно получают выражение для определения предельной отметки сифона Z_2

$$Z_2 = Z_1 + h_{\text{вак}} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - h_{w_{1-2}}, \quad (4.26)$$

где α_2 – коэффициент Кориолиса, $\alpha_2=1,0$;

V_2 – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1;

$h_{w_{1-2}}$ – суммарные потери напора в потоке между рассматриваемыми сечениями, определяют по формуле (4.6);

Z_1 – отметка уровня воды в шахтном колодце «А», см. исходные данные, Приложение 1.

Потери напора по длине потока находят по формуле (4.22), беря в расчет часть трубы сифона, расположенную между принятыми сечениями, то есть за вычетом вертикальной части трубы сифона в сборном колодце «В».

Суммарные местные потери напора на данном участке сифона будут равны

$$\sum h_{\text{м}} = (\zeta_{\text{с}} + 2 \cdot \zeta_{\text{пов}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.27)$$

где $\zeta_{\text{с}}$, $\zeta_{\text{пов}}$ – коэффициенты местных сопротивлений сетки и поворота трубы сифона, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды в сифоне по формуле (4.2), п. 4.1.

4.4. Определение диаметра всасывающей линии

Определение диаметра всасывающей линии производят по расходу и рекомендуемой средней скорости аналогично определению диаметра водозаборной линии, см. п. 4.1.

Для всех вариантов задания (А, Б, В и Г) по всасывающему трубопроводу будет проходить весь расход, перекачиваемый насосом.

4.5. Определение отметки оси насоса

Данный расчет для всех вариантов задания выполняют аналогично.

Приведем схему всасывающего трубопровода для варианта А (рисунок 4.5).

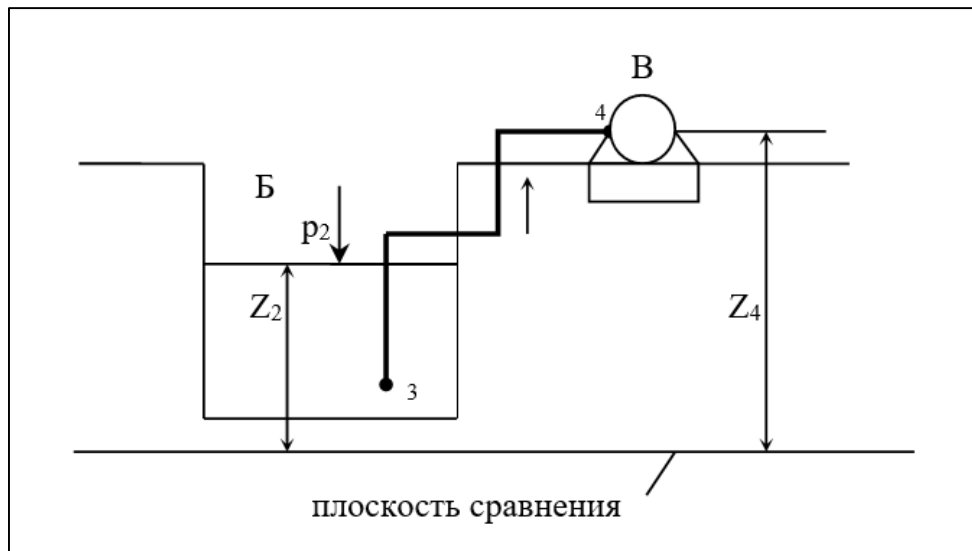


Рисунок 4.5 – Всасывающая линия

Для решения данной задачи необходимо составить уравнение Д. Бернулли для двух сечений потока. Одно сечение проводят по уровню свободной поверхности воды в колодце «Б», откуда забирает воду насос, а другое – по всасывающей линии перед насосом «В»

$$Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} + h_{w_{2-4}} \quad (4.28)$$

Решают это уравнение относительно искомой отметки оси насоса Z_4 с учетом того, что давление на свободной поверхности воды в колодце равно атмосферному $p_2 = p_a$, а величиной скоростного напора в колодце можно пренебречь, как малой величиной $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \approx 0$. Скоростной напор $\frac{\alpha_4 V_4^2}{2g}$ во всасывающей линии необходимо учесть

$$Z_4 = Z_2 + \frac{p_a - p_4}{\gamma} - \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} - h_{w_{2-4}} \quad (4.29)$$

Во всасывающей трубе насоса в непосредственной близости от него давление p_4 меньше атмосферного. Причем с увеличением высоты расположения насоса над уровнем воды в колодце, из которого насос забирает воду, это давление уменьшается. Отсюда следует, что $p_a - p_4 = p_{\text{вак}}$ и согласно (4.20) все отношение $\frac{p_a - p_4}{\gamma} = h_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота, допустимое значение которой указано в задании, Приложение 1.

Таким образом, окончательно уравнение (4.28) имеет вид

$$Z_4 = Z_2 + h_{\text{вак}} - \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} - h_{w_{2-4}} \quad (4.30)$$

где Z_2 – отметка уровня воды в сборном колодце, определяют в п. 4.2;

α_4 – коэффициент Кориолиса, принимают в расчете равным 1,0;

V_4 – скорость течения воды во всасывающем трубопроводе, определяют в п. 4.4;

$h_{w_{2-4}}$ – суммарные потери напора во всасывающей линии по формуле (4.6).

Потери напора по длине потока h_ℓ находят с помощью выражения (4.7). Значение гидравлического уклона i при этом в соответствии с выбранным диаметром трубы и скоростью течения воды в ней определяют в п. 4.4.

Суммарные местные потери напора $\sum h_M$ находят по (2.2) с учетом всех видов местных сопротивлений, указанных в задании для всасывающего трубопровода. Это приемный клапан и три колена. Таким образом,

$$\sum h_m = (\zeta_{\text{кл}} + 3 \cdot \zeta_{\text{кол}}) \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4.31)$$

где $\zeta_{\text{кл}}$, $\zeta_{\text{кол}}$ – коэффициенты местных сопротивлений клапана и колена всасывающего трубопровода, указаны в задании, Приложение 1;

V – скорость течения воды во всасывающей трубе, см. п. 4.4.

Как указывалось выше, данный расчет по определению отметки оси насоса и для других вариантов задания Б, В и Г выполняют по приведенной схеме с несущественной разницей в обозначениях, см. таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Разница в обозначениях отметок уровня воды в колодце и оси насоса для всех вариантов задания

Варианты	Отметка уровня воды в сборном колодце	Отметка оси насоса
А	Z_2	Z_4
Б	Z_7	Z_8
В	Z_3	Z_4
Г	Z_3	Z_6

Таким образом, при проведении расчета по вариантам Б, В и Г необходимо индексы при всех характеристиках в уравнение Д. Бернулли согласовать с таковыми в таблице 4.1.

4.6. Определение диаметра водовода

Такую задачу решают только для варианта задания А, в котором этот диаметр не задан.

Водовод в варианте А представляет собой одну трубу, по которой проходит весь расход воды, подаваемый насосом. Определение диаметра трубы производят по расходу и рекомендуемой средней скорости.

Способ решения подобной задачи уже рассмотрен выше в п. 4.1 и может выполняться в соответствии с предложенной в нем схемой.

4.7. Определение напора, развиваемого насосом

Напор, развиваемый насосом, есть величина полной энергии, передаваемой насосом каждой единице веса перекачиваемой воды. Он расходуется, во-первых, на вертикальный подъем воды с уровня свободной поверхности в сборном колодце до уровня свободной поверхности в резервуаре водонапорной башни, во-вторых, на преодоление сопротивлений движению воды во всасывающей линии и в водоводе [1]. Таким образом, напор, развиваемый насосом

$$H_H = H_r + h_{w_{\text{вс}}} + h_{w_{\text{вод}}}, \quad (4.32)$$

где H_r – геодезическая высота подъема воды;

$h_{w_{\text{вс}}}$ – суммарные потери напора во всасывающей линии, определены ранее в п. 4.5;

$h_{w_{\text{вод}}}$ – суммарные потери напора в водоводе.

Геодезическую высоту подъема воды H_r находят, как разность отметок свободной поверхности воды в резервуаре водонапорной башни $Z_{\text{рез}}$ и в сборном колодце. Отметка свободной поверхности воды в резервуаре водонапорной башни $Z_{\text{рез}}$ может быть определена суммированием отметки поверхности земли у башни, высоты ее ствола H_6 (от земли до дна резервуара) и высоты резервуара $H_{\text{рез}}$, которые указаны в задании, Приложение 1. Отметка свободной поверхности воды в сборном колодце определена ранее в п. 4.2.

Так как водовод относится к гидравлически длинным трубопроводам, то суммарные потери напора в нем $h_{w_{\text{вод}}}$ определяют с помощью выражения (2.4).

Поскольку конструкция водовода в разных вариантах задания неодинаковая, рассмотрим особенности расчета в каждом случае отдельно.

В варианте А водовод представляет собой одну трубу постоянного сечения, то есть относится к простым трубопроводам (рисунок 4.6). Условия движения воды по всей длине водовода не меняются.

В данном случае геодезическая высота подъема воды H_{Γ} будет равна

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{рез}} - Z_2, \quad (4.33)$$

при этом

$$Z_{\text{рез}} = Z_7 + H_6 + H_{\text{рез}}. \quad (4.33)$$

Для того, чтобы определить суммарные потери напора в водоводе, в сущности, нужно найти потери напора по длине h_{ℓ} , см. (4.7) и (2.4). Значение гидравлического уклона i определяют в соответствии с выбранным диаметром водовода и скоростью течения воды в нем, см. п. 4.6.

При определении h_{ℓ} учитывают полную длину водовода, указанную в задании, Приложение 1.

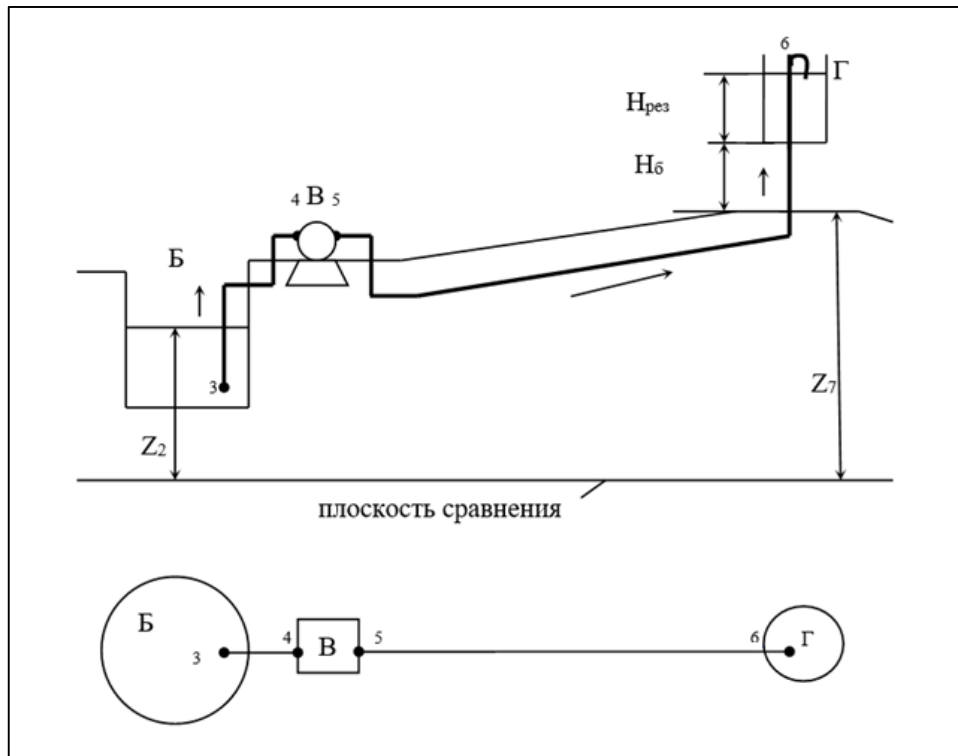


Рисунок 4.6 – Водовод для варианта А

В варианте Б водовод представляет собой две, рядом уложенные трубы (нитки) одинакового диаметра, то есть относится к типу сложных трубопроводов с параллельным соединением труб (рисунок 4.7).

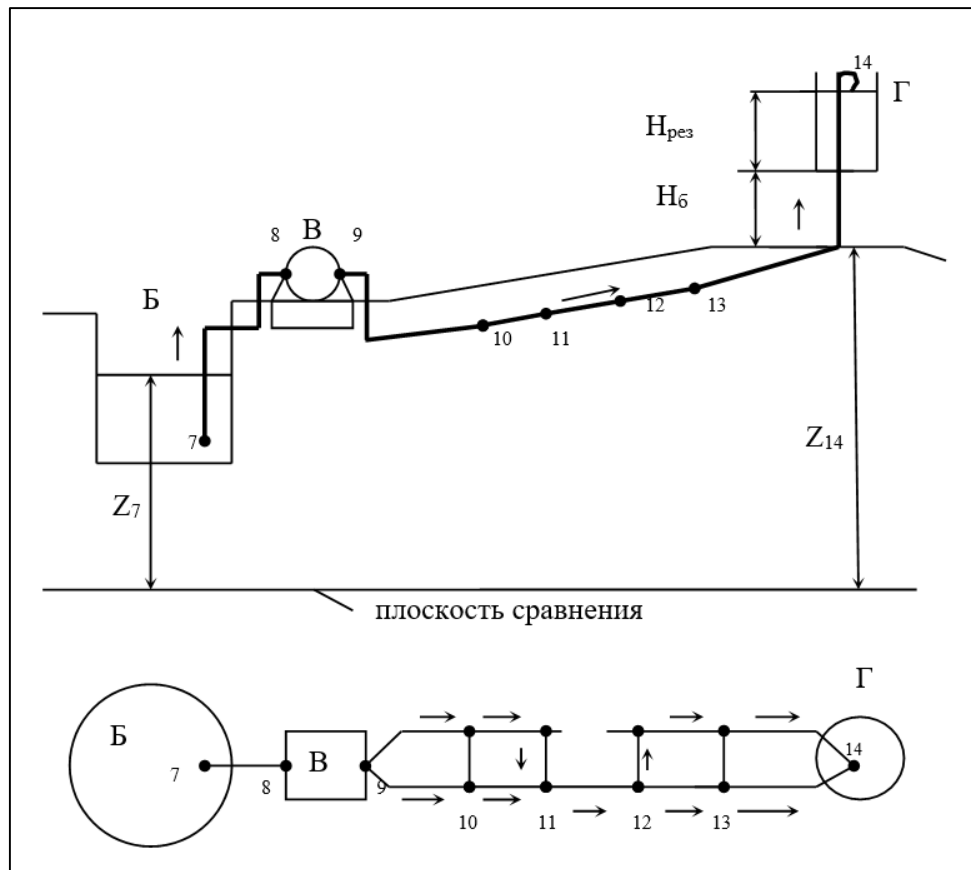


Рисунок 4.7 – Водовод для варианта Б

Каждая из двух ниток состоит из пяти участков равной длины, см. Приложение 1. Водовод снабжен переключениями, позволяющими выключать любой из аварийных участков.

Таким образом, по каждой из двух ниток водовода проходит расход, равный половине подаваемого насосом расхода $Q/2$.

Согласно заданию на одной из параллельных ниток водовода имеется аварийный участок 11-12, выключенный из работы. В этом случае весь расход воды Q , подаваемый насосом, пойдет целиком по одной трубе на участке 11-12 при выключенной параллельной. Переброс воды с участка на участок в данном случае осуществляется с помощью переключений.

Геодезическую высоту подъема воды H_{Γ} в данном варианте задания определяют как

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{рез}} - Z_7, \quad (4.35)$$

при этом

$$Z_{\text{рез}} = Z_{14} + H_6 + H_{\text{рез}}. \quad (4.36)$$

Определение суммарных потерь напора в водоводе в этом случае сводится к определению потерь напора лишь в одной из ниток параллельного соединения согласно (2.6). Так как данный водовод является гидравлически длинным трубопроводом, то для расчета потерь напора используют, как и в варианте задания А, выражения (4.7) и (2.4).

Значение гидравлического уклона i на рассматриваемом участке водовода определяют по расчетному диаметру d_p участка и расходу воды, по нему проходящему, см. п. 4.1. Само значение d_p находят по известному условному проходу d , используя Приложение 3.

В варианте задания В водовод также представляет из себя сложный трубопровод, но с последовательным соединением труб разного диаметра 5-6 и 6-10 (рисунок 4.8).

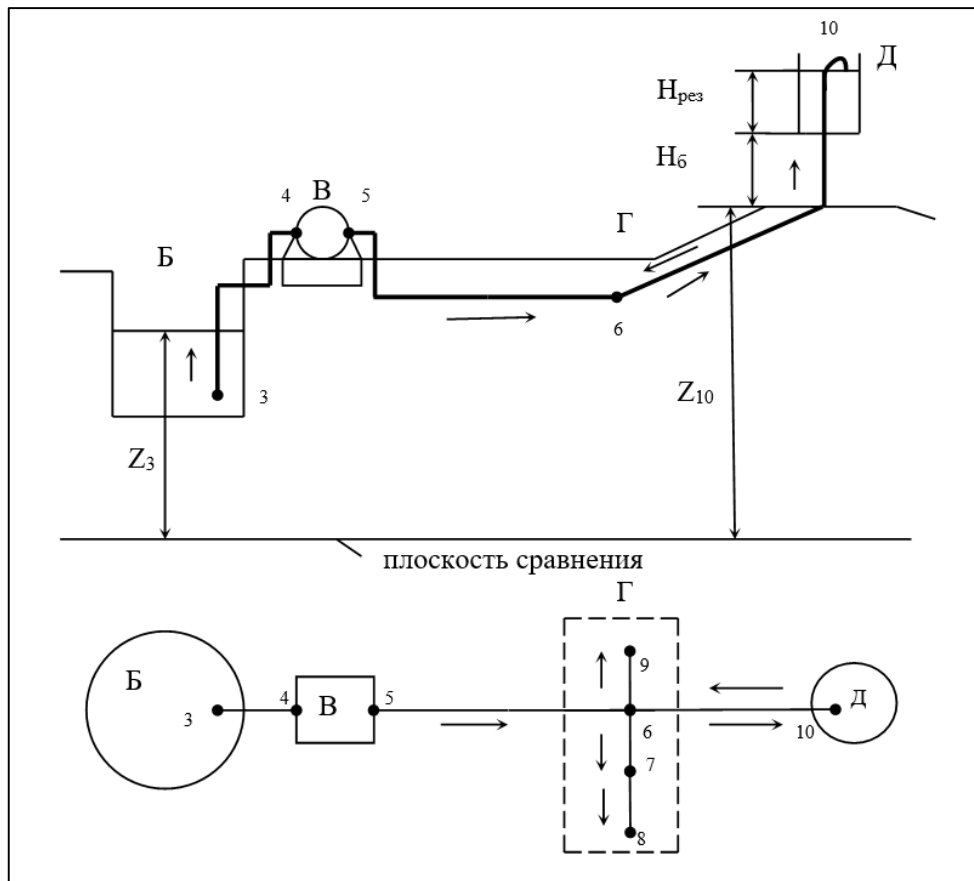


Рисунок 4.8 – Водовод для варианта В

Водонапорная башня «Д» располагается в данном случае дальше от насосной станции «В», чем разводящая сеть «Г», то есть имеет место сеть с контррезервуаром. При подаче воды насосом в водонапорную башню отсутствует ее раздача в разводящей сети, и по обоим участкам водовода 5-6 и 6-10 проходит расход Q , подаваемый насосом.

Геодезическая высота подъема воды в данном случае

$$H_{\Gamma} = Z_{10} + H_6 + H_{\text{рез}} - Z_3. \quad (4.37)$$

Суммарные потери напора в водоводе с последовательным соединением труб разного диаметра в соответствии с (2.5) находят путем сложения потерь напора на участках 5-6 и 6-10, которые в свою очередь определяют с использованием выражений (4.7) и (2.4).

Значение гидравлического уклона i для каждого участка водовода определяют в зависимости от диаметра участка и расхода воды на участке, см. п. 4.1. Как было выше сказано, расход воды на обоих участках водовода – это расход, подаваемый насосом Q . Что касается диаметров участков, то они могут быть разными. Расчетный диаметр d_p участка 5-6 находят по известному условному проходу d , используя Приложение 3. А вот диаметр участка 6-10, являющегося одновременно и частью водовода (при подаче воды насосом в водонапорную башню), и частью разводящей сети (при поступлении воды из башни в разводящую сеть при неработающем насосе), может быть определен только в результате расчета разводящей сети. Таким образом, для варианта задания В расчет напора, создаваемого насосом, должен быть произведен после расчета разводящей сети (см. далее).

Водовод в варианте задания Г представляет собой также сложный трубопровод. Он содержит и последовательное соединение труб разного диаметра (7-8, 8-9 и 9-10), и участок с параллельным соединением труб (8-9 и 8'-9') (рисунок 4.9).

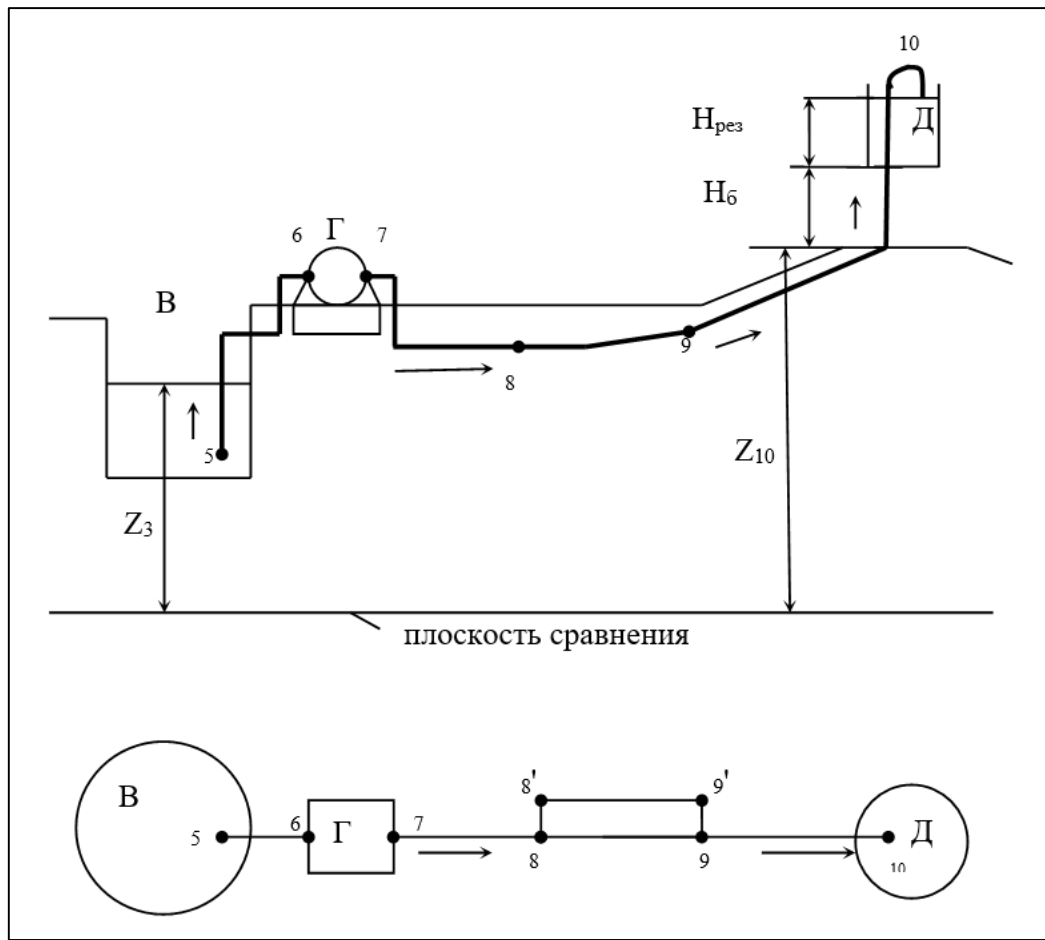


Рисунок 4.9 – Водовод для варианта Г

Геодезическая высота подъема воды H_r составит

$$H_r = Z_{10} + H_6 + H_{рез} - Z_3. \quad (4.38)$$

Суммарные потери напора во всем водоводе равны сумме потерь напора на всех трех его участках 7-8, 8-9 и 9-10. Потери напора на участках 7-8 и 9-10 определяют по формулам (4.7) и (2.4) с помощью гидравлического уклона i , который, в свою очередь, находят по заданным значениям диаметра и расхода воды на каждом участке, см. п. 4.1. Расход воды на участках 7-8 и 9-10 равен расходу, подаваемому насосом, то есть Q .

На среднем участке водовода уложены параллельно две трубы разного диаметра и разной длины 8-9 и 8'-9'. Для определения потери напора на этом участке необходимо сначала найти значения расходов, проходящих по каждой из этих труб Q_1 и Q_2 . При том, что $Q_1 + Q_2 = Q$ – расходу, подаваемому насосом. Их определяют, как известно из курса гидравлики [2, 4], путем решения системы двух уравнений в соответствии с (2.6) и (2.4)

$$\begin{cases} h_{w1} = h_{w2} \\ Q_1 + Q_2 = Q \end{cases} \quad (4.39)$$

При этом потери напора по длине в каждой ветви (трубе) параллельного соединения следует считать по формуле

$$h_\ell = A \cdot K \cdot \ell \cdot Q_n^2, \quad (4.40)$$

где A – удельное сопротивление для каждой из параллельных труб;

K – коэффициент, учитывающий область сопротивления;

ℓ – длина каждой из параллельных труб, м, см. исходные данные, Приложение 1;

Q_n – расход воды, проходящий по каждой из параллельных труб Q_1 или Q_2 , л/с.

Удельное сопротивление A и поправочный коэффициент K , на который при $V \neq 1$ м/с (для новых стальных и чугунных, а также асбестоцементных труб) или $V < 1,2$ м/с (для неновых

стальных и чугунных труб) следует умножить значение A , рассчитывают с помощью следующих выражений [12], см. п. 3:

- для новых стальных и чугунных труб по формулам (3.13) и (3.14);
- для новых стальных труб – (3.15) и (3.17);
- для новых чугунных труб – (3.16) и (3.18);
- для асбестоцементных труб – (3.22) и (3.23).

Скорость течения воды на исследуемом участке определяют по

$$V = \frac{1270 \cdot Q_n}{d_p^2}, \quad (4.41)$$

где Q_n – расход воды на участке, л/с;

d_p – расчетный диаметр участка, мм (по заданному условному проходу d , Приложение 3).

При решении системы уравнений (4.39) вначале принимают для обеих труб соединения поправочные коэффициенты K равными единице

$$K_1 = K_2 = 1.$$

Находят при этом значения Q_1 и Q_2 , а также V_1 и V_2 , K_1 и K_2 . Затем решают систему уравнений (4.39) еще раз уже с новыми значениями K_1 и K_2 , тем самым уточняя значения Q_1 и Q_2 , расходов в действительности проходящих по каждой из параллельных труб. Эти новые значения Q_1 и Q_2 могут использоваться для дальнейших расчетов, в том числе для определения потерь на втором участке водовода по формулам (4.40) и (2.4).

4.8. Определение мощности на валу насоса

Мощность, которая должна быть передана на вал насоса от двигателя, складывается из полезной мощности, необходимой для подъема воды из сборного колодца в резервуар водонапорной башни, и мощности, теряемой в самом насосе. Последнюю учитывают с помощью коэффициента полезного действия [1]. Таким образом,

$$N_3 = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta}, \quad (4.42)$$

где N_3 – мощность на валу насоса, кВт;

Q – расход, подаваемый насосом, л/с, указан в задании, Приложение 1;

γ – удельный вес перекачиваемой жидкости, кг/дм³ (для воды $\gamma=1,0$ кг/дм³);

H_n – напор, развиваемый насосом, м (см. п. 4.7);

102 – переводной коэффициент из кгс·м/с в кВт;

η – КПД насоса, числовое значение указано в задании, Приложение 1.

4.9. Расчет разводящей сети

4.9.1. Определение расходов на отдельных участках разводящей сети

Расход, проходящий по данному участку сети, находят как сумму расходов во всех точках водопотребления, расположенных за рассматриваемым участком, считая от водонапорной башни. Значения же расходов в точках водопотребления указаны в задании, Приложение 1.

Рассмотрим схему разводящей сети труб для варианта задания А (рисунок 4.10).

Согласно заданию точками водопотребления в данном варианте являются 10, 11, 12 и 13 узлы. Значения узловых расходов в этих точках Q_{10} , Q_{11} , Q_{12} и Q_{13} , как уже указывалось, приведены в бланке задания. Направление движения воды по трубам сети на схеме указано стрелками.

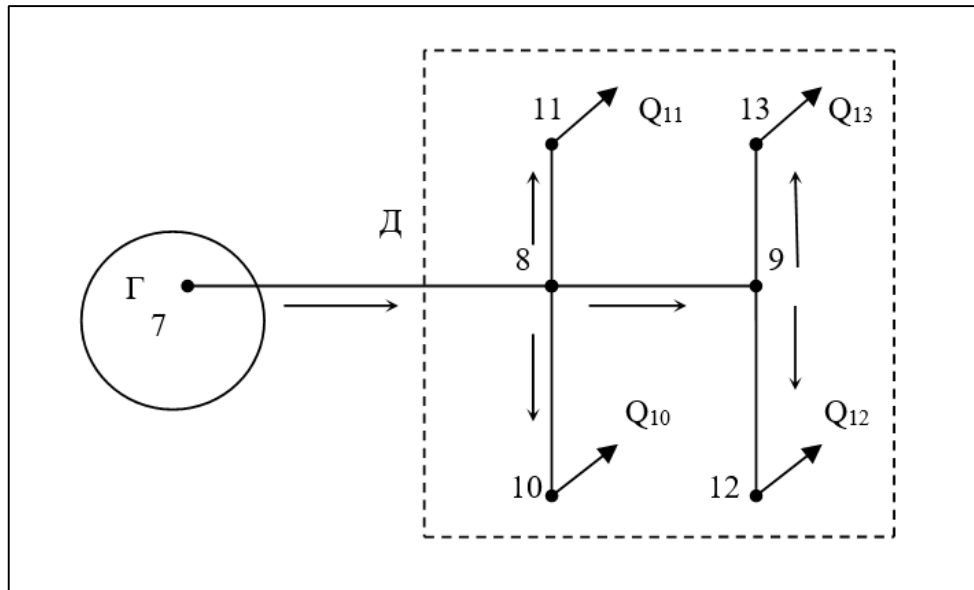


Рисунок 4.10 – Разводящая сеть для варианта А

Итак, расход воды на участке 7-8, согласно определению, будет равен сумме узловых расходов во всех точках водопотребления, расположенных за этим участком ниже по течению. За участком 7-8 располагаются все четыре точки водопотребления 10, 11, 12 и 13. Таким образом,

$$Q_{7-8} = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13}. \quad (4.43)$$

За участком 8-9 располагаются только две точки водопотребления 12 и 13. Поэтому

$$Q_{8-9} = Q_{12} + Q_{13}. \quad (4.44)$$

За оставшимися четырьмя участками сети располагается по одной точке водопотребления: за участком 8-10 – 10 узел, за 8-11 – 11 узел, за 9-12 – 12 узел и за 9-13 – 13 узел. Отсюда следует, что

$$Q_{8-10} = Q_{10}, \quad Q_{8-11} = Q_{11}, \quad Q_{9-12} = Q_{12}, \quad Q_{9-13} = Q_{13}. \quad (4.45)$$

Схема разводящей сети для варианта Б представлена на рисунке 4.11.

Точками водопотребления в данном случае являются узлы 16, 17, 18 и 19. Значения узловых расходов Q_{16} , Q_{17} , Q_{18} и Q_{19} приведены в задании.

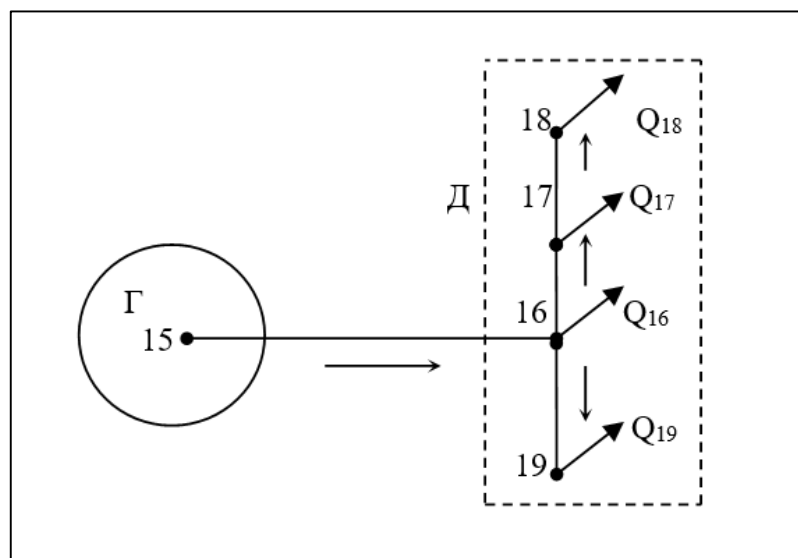


Рисунок 4.11 – Разводящая сеть для варианта Б

За участком 15-16 располагаются все четыре точки водопотребления. Поэтому

$$Q_{15-16} = Q_{16} + Q_{17} + Q_{18} + Q_{19}. \quad (4.46)$$

За участком 16-17 ниже по течению находятся две точки водопотребления 17 и 18

$$Q_{16-17} = Q_{17} + Q_{18}. \quad (4.47)$$

За участками 17-18 и 16-19 - по одной точке водопотребления

$$Q_{17-18} = Q_{18} \quad Q_{16-19} = Q_{19}. \quad (4.48)$$

Схема разводящей сети для варианта В представлена на рисунке 4.12.

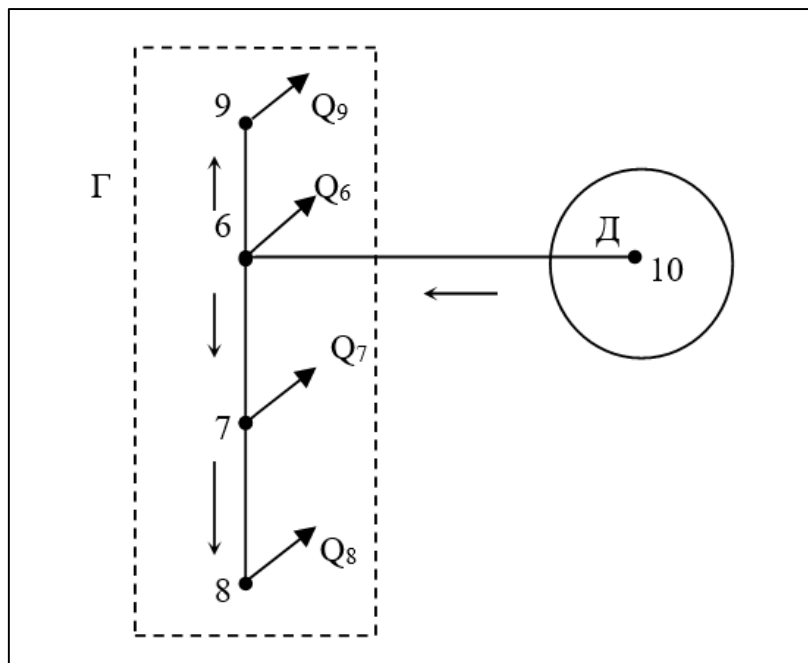


Рисунок 4.12 – Разводящая сеть для варианта В

Точки водопотребления – это 6,7,8 и 9 узлы. По аналогии с рассмотренными выше вариантами решения

$$Q_{10-6} = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9, \quad (4.49)$$

$$Q_{6-9} = Q_9, \quad (4.50)$$

$$Q_{6-7} = Q_7 + Q_8, \quad (4.51)$$

$$Q_{7-8} = Q_8. \quad (4.52)$$

Наконец приведем схему разводящей сети для варианта задания Г (рисунок 4.13).

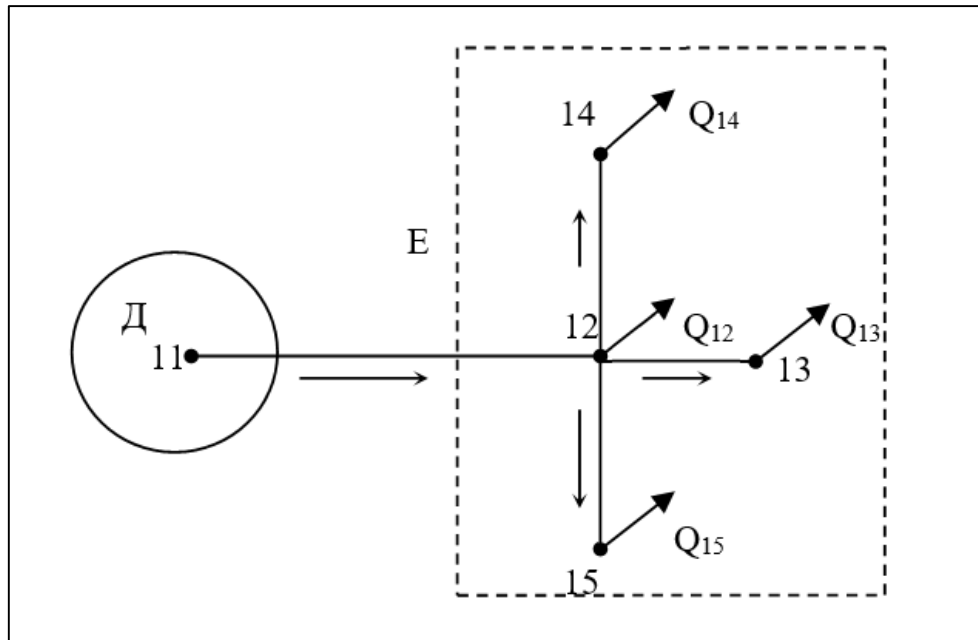


Рисунок 4.13 – Разводящая сеть для варианта Г

В данном случае точками водопотребления являются узлы 12, 13, 14 и 15. Согласно схеме движения воды

$$Q_{11-12} = Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15}, \quad (4.53)$$

$$Q_{12-13} = Q_{13}, \quad (4.54)$$

$$Q_{12-14} = Q_{14}, \quad (4.55)$$

$$Q_{12-15} = Q_{15}. \quad (4.56)$$

4.9.2. Определение магистрального направления

За магистральное направление принимают направление движения воды по участкам разводящей сети от водонапорной башни до самого невыгодно расположенного узла. Такое направление характеризуется наименьшим средним гидравлическим уклоном. Поэтому для выбора магистрального направления необходимо определить значения среднего гидравлического уклона до каждого узла сети и выбрать из них наименьшее.

Средний гидравлический уклон в данном расчете удобно определять по формуле

$$i_{\text{ср}} = \frac{H_{\text{п.нач}} - (Z_x + H_{\text{свх}}^{\text{min}})}{\sum_{\text{нач}}^x \ell}, \quad (4.57)$$

где $H_{\text{п.нач}}$ – пьезометрический напор в начале магистрали, то есть у водонапорной башни

$$H_{\text{п.нач}} = Z_6 + H_6; \quad (4.58)$$

Z_6 – отметка поверхности земли у водонапорной башни, указана в задании, Приложение 1;

H_6 – высота ствола водонапорной башни, указана в задании, Приложение 1;

Z_x – отметка поверхности земли для рассматриваемого узла, указана в задании Приложение 1;

$H_{\text{свх}}^{\text{min}}$ – требуемый (минимальный) свободный напор в рассматриваемом узле, Приложение 1;

$\sum_{\text{нач}}^x \ell$ – суммарная длина участков от башни до рассматриваемого узла, длины всех участков разводящей сети указаны в задании, Приложение 1.

Итак, для определения магистрального направления в варианте задания А рассматривают все возможные направления движения жидкости в разводящей сети труб, то есть направления движения воды от башни до всех точек водопотребления. В данном случае это четыре следующих направления:

7 – 8 – 10,
7 – 8 – 11,
7 – 8 – 9 – 12,
7 – 8 – 9 – 13.

Далее определяют средний гидравлический уклон для каждого из перечисленных направлений

$$i_{\text{cp}}^{7-8-10} = \frac{H_{\text{п.7}} - (Z_{10} + H_{\text{св.10}}^{\text{min}})}{\ell_{7-8} + \ell_{8-10}}, \quad (4.59)$$

$$i_{\text{cp}}^{7-8-11} = \frac{H_{\text{п.7}} - (Z_{11} + H_{\text{св.11}}^{\text{min}})}{\ell_{7-8} + \ell_{8-11}}, \quad (4.60)$$

$$i_{\text{cp}}^{7-8-9-12} = \frac{H_{\text{п.7}} - (Z_{12} + H_{\text{св.12}}^{\text{min}})}{\ell_{7-8} + \ell_{8-9} + \ell_{9-12}}, \quad (4.61)$$

$$i_{\text{cp}}^{7-8-9-13} = \frac{H_{\text{п.7}} - (Z_{13} + H_{\text{св.13}}^{\text{min}})}{\ell_{7-8} + \ell_{8-9} + \ell_{9-13}}. \quad (4.62)$$

Те же операции проделывают для варианта Б. Намечают возможные направления движения воды:

15 – 16,
15 – 16 – 17,
15 – 16 – 17 – 18,
15 – 16 – 19.

Самое кратчайшее направление 15-16 можно не принимать в расчет, так как обычно невыгодно расположенными узлами в сетях тупикового типа являются узлы, наиболее удаленные от водонапорной башни. Для оставшихся трех направлений определяют значения среднего гидравлического уклона

$$i_{\text{cp}}^{15-16-17} = \frac{H_{\text{п.15}} - (Z_{17} + H_{\text{св.17}}^{\text{min}})}{\ell_{15-16} + \ell_{16-17}}, \quad (4.63)$$

$$i_{\text{cp}}^{15-16-17-18} = \frac{H_{\text{п.15}} - (Z_{18} + H_{\text{св.18}}^{\text{min}})}{\ell_{15-16} + \ell_{16-17} + \ell_{17-18}}, \quad (4.64)$$

$$i_{\text{cp}}^{15-16-19} = \frac{H_{\text{п.15}} - (Z_{19} + H_{\text{св.19}}^{\text{min}})}{\ell_{15-16} + \ell_{16-19}}. \quad (4.65)$$

Вариант задания В. Возможные направления движения воды:

10 – 6,
10 – 6 – 9,
10 – 6 – 7,
10 – 6 – 7 – 8.

Наикратчайшее направление 10-6 исключают из рассмотрения, см. вариант Б, и для оставшихся трех находят значения среднего гидравлического уклона

$$i_{\text{cp}}^{10-6-9} = \frac{H_{\text{п.10}} - (Z_9 + H_{\text{св.9}}^{\text{min}})}{\ell_{10-6} + \ell_{6-9}}, \quad (4.66)$$

$$i_{\text{cp}}^{10-6-7} = \frac{H_{\text{п.10}} - (Z_7 + H_{\text{св.7}}^{\text{min}})}{\ell_{10-6} + \ell_{6-7}}, \quad (4.67)$$

$$i_{\text{cp}}^{10-6-7-8} = \frac{H_{\text{п.10}} - (Z_8 + H_{\text{св.8}}^{\text{min}})}{\ell_{10-6} + \ell_{6-7} + \ell_{7-8}}. \quad (4.68)$$

Вариант задания Г. Возможные направления движения воды:

11 – 12,
11 – 12 – 13,
11 – 12 – 14,
11 – 12 – 15.

Кратчайшее направление 11-12 не рассматривают. Средние гидравлические уклоны для оставшихся трех направлений

$$i_{\text{cp}}^{11-12-13} = \frac{H_{\text{п.11}} - (Z_{13} + H_{\text{св.13}}^{\text{min}})}{\ell_{11-12} + \ell_{12-13}}, \quad (4.69)$$

$$i_{\text{cp}}^{11-12-14} = \frac{H_{\text{п.11}} - (Z_{14} + H_{\text{св.14}}^{\text{min}})}{\ell_{11-12} + \ell_{12-14}}, \quad (4.70)$$

$$i_{\text{cp}}^{11-12-15} = \frac{H_{\text{п.11}} - (Z_{15} + H_{\text{св.15}}^{\text{min}})}{\ell_{11-12} + \ell_{12-15}}. \quad (4.71)$$

Наименьшее значение среднего гидравлического уклона во всех вариантах задания определяет магистральное направление.

4.9.3. Определение диаметра для каждого участка магистрального направления

При определении диаметров труб магистрального направления необходимо руководствоваться расходом воды, проходящей по рассматриваемому участку, и средним удельным сопротивлением A для этого участка.

Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления может быть определено по формуле

$$A = \frac{i_{\text{cp}}^{\text{min}}}{Q^2}, \quad (4.72)$$

где $i_{\text{cp}}^{\text{min}}$ – средний гидравлический уклон для магистрального направления, определенный в п. 4.9.2;

Q – расход воды, проходящей по рассматриваемому участку сети, л/с, см. п. 4.9.1.

Определив таким образом значения A , расчетный диаметр труб можно найти, используя соответствующие материалу труб формулы (3.13), (3.15), (3.16) и (3.22).

Но такой расчет будет окончательным только, если скорость течения воды на рассматриваемом участке $V=1$ м/с (для новых стальных и чугунных, а также асбестоцементных труб) или $V \geq 1,2$ м/с (для неновых стальных и чугунных труб). В противном случае необходимо определить действительное значение скорости с помощью (4.41). Затем при этой скорости находят значение поправочного коэффициента K по (3.14), (3.17), (3.18) и (3.23) в зависимости от материала труб, на которое надо умножить A , тем самым уточнив его значение, полученное выше по (4.72).

После чего по уточненному значению удельного сопротивления A с помощью формул (3.13), (3.15), (3.16) и (3.22) вновь определяют значение диаметра для каждого участка магистрального направления. Полученную величину диаметра необходимо округлить до ближайшего большего расчетного стандартного значения d_p по таблицам 3.1, 3.2, 3.3 в зависимости от заданного материала труб.

4.9.4. Определение потерь напора на всех участках магистрального направления

Потери напора на всех участках магистрального направления определяют по формуле

$$h_w = 1,1 \cdot A \cdot \ell \cdot Q^2, \quad (4.73)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий местные потери напора, в соответствии с (2.4);

A – уточненное значение удельного сопротивления для рассматриваемого участка, см. п. 4.9.3;

ℓ – длина рассматриваемого участка, м, см. исходные данные, Приложение 1;

Q – расход воды, проходящей по рассматриваемому участку, л/с, см. п. 4.9.1.

4.9.5. Определение пьезометрических напоров во всех узлах, находящихся на магистральном направлении

Пьезометрический напор в данном узле определяют следующим образом

$$H_{п.х} = H_{п.нач} - \sum_{нач}^x h_w, \quad (4.74)$$

где $H_{п.нач}$ – пьезометрический напор в начале магистрального направления (у водонапорной башни), определяемый по формуле (4.58);

$\sum_{нач}^x h_w$ – сумма потерь напора на всех участках магистрального направления от башни (т.е. начального узла) до рассматриваемого узла. Потери напора на всех участках магистрали определены в п. 4.9.4.

4.9.6. Определение свободных напоров во всех точках водопотребления, находящихся на магистрали

Свободный напор в точке водопотребления находят, как

$$H_{св.х} = H_{п.х} - Z_x, \quad (4.75)$$

где $H_{п.х}$ – пьезометрический напор в данной точке, определяют в п. 4.9.5;

Z_x – отметка поверхности земли в данной точке, см. бланк задания, Приложение 1.

Величины свободных напоров, вычисленные таким образом, не должны быть меньше величин требуемых свободных напоров, указанных в задании, но при этом должны быть к ним по возможности ближе $H_{св.х} \geq H_{св}^{min}$.

Если эти условия не выполняются, то необходимо изменить диаметры d_p на одном или нескольких участках магистрали. При $H_{св.х} < H_{св}^{min}$ диаметры труб увеличивают, а при $H_{св.х} \gg H_{св}^{min}$ – диаметры труб уменьшают.

4.9.7. Расчет ответвлений от магистрали

После расчета магистрального направления приступают к расчету всех ответвлений от магистрали.

Например, в варианте задания А, см. рисунок 4.10, магистралью в результате расчета по формулам (4.59), (4.60), (4.61) и (4.62) стало направление 7-8-9-13. Тогда ответвлениями от магистрали будут направления движения воды 8-10, 8-11 и 9-12. Или, например, в варианте задания В, см. рисунок 4.12, в результате расчета по формулам (4.66), (4.67) и (4.68) направление 10-6-7-8 стало магистральным. В этом случае направление 6-9 будет ответвлением от него.

При этом каждое ответвление рассматривается как самостоятельная разводящая сеть, для которой необходимо найти свое магистральное направление. Правда, во всех вариантах данного учебного задания все ответвления состоят лишь из одного участка, что существенно облегчает расчет. Поэтому расчет ответвления начинают с определения среднего гидравлического уклона для него по формуле (4.57), но в этом случае $H_{п.нач}$ будет равняться уже найденному пьезометрическому напору $H_{п.х}$ в том узле, от которого начинается данное ответвление. Например, в варианте А для ответвлений 8-10 и 8-11 $H_{п.нач} = H_{п.8}$, а для ответвления 9-12 $H_{п.нач} = H_{п.9}$ и т.д.

В остальном расчет ответвлений абсолютно аналогичен рассмотренному выше расчету магистрального направления, то есть включает в себя определение диаметра трубы ответвления, потерь напора в ней, а также пьезометрических и свободных напоров в конечных узлах ответвлений в соответствии с п. 4.9.3 - 4.9.6.

5. Графическая часть расчетной работы

5.1. Построение напорной и пьезометрической линий для трубопровода от источника водоснабжения до сборного колодца

В зависимости от варианта задания источником водоснабжения является либо река «А» (варианты А и В), либо водоприемный ковш «А» (вариант Б), либо шахтные колодцы «А» и «Б» (вариант Г), из которых вода по водозаборной линии поступает в сборный колодец «Б» (варианты А, Б, В) или сборный колодец «В» (вариант Г). Таким образом, в этом пункте задания необходимо построить напорную и пьезометрическую линии на продольном профиле самотечной линии, сифона или дюкера.

Напорная линия [2, 4] иллюстрирует изменение по длине потока жидкости полного гидродинамического напора (полной удельной энергии жидкости)

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}, \quad (5.1)$$

который вниз по течению неуклонно уменьшается, так как свою энергию жидкость постоянно затрачивает на преодоление гидравлических сопротивлений.

Пьезометрическая линия иллюстрирует изменение по длине потока гидростатического (пьезометрического) напора, т.е. удельной потенциальной энергии жидкости

$$H_{\text{п}} = Z + \frac{p}{\gamma}. \quad (5.2)$$

Разница между значениями этих напоров составляет скоростной напор

$$H_u = \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}, \quad (5.3)$$

соответствующий значению удельной кинетической энергии жидкости.

Построение начинают с выбора вертикального и горизонтального масштабов. Удобнее горизонтальный масштаб выбирать таким, чтобы длина трубопровода по горизонтали занимала 10-15 см. Поскольку напорная и пьезометрическая линии начинаются от уровня воды в источнике водоснабжения над входной частью водозаборной трубы и заканчиваются на уровне воды в сборном колодце над ее концом, то вертикальный масштаб лучше назначить таким, чтобы на чертеже расстояние между указанными уровнями воды составляло 5-10 см. При этом отметки на оси ординат следует начинать не от нуля, а от числа несколько меньшего отметки уровня воды в сборном колодце.

Для построения напорной линии необходимо определить величины гидродинамических напоров в различных сечениях по длине трубы. За такие сечения принимают места расположения местных сопротивлений – вход в трубу, повороты, выход из трубы в сборный колодец. Для каждого из таких сечений определяют напоры (отметки) перед местным сопротивлением и после него. Гидродинамический напор перед входом в водозаборную трубу принимают равным отметке свободной поверхности воды в источнике водоснабжения, т.к. скоростным напором в этом источнике можно пренебречь, как малой величиной. С учетом этого гидродинамический напор H_x в каждом из таких сечений может быть определен по формуле

$$H_x = H_{\text{нач}} - \sum_{\text{нач}}^x h_{\ell} - \sum_{\text{нач}}^x h_m, \quad (5.4)$$

где $H_{\text{нач}}$ – гидродинамический напор перед входом в водозаборную трубу:

$$H_{\text{нач}} = Z_0 \text{ (варианты А, Б, В),}$$

$$H_{\text{нач}} = Z_1 \text{ (вариант Г);}$$

$$Z_0 \text{ и } Z_1 \text{ – отметки поверхности воды в источнике водоснабжения, см. бланк задания,}$$

Приложение 1;

$\sum_{\text{нач}}^x h_\ell$ – сумма потерь напора по длине участков водозаборной трубы от ее начала до рассматриваемого сечения;

$\sum_{\text{нач}}^x h_m$ – сумма местных потерь напора в водозаборной трубе от ее начала до рассматриваемого сечения.

Величины h_ℓ вычисляются по формуле (4.7), а величины h_m – по формуле (2.2).

Отложив полученные величины гидродинамических напоров в соответствующих сечениях в выбранном масштабе и соединив полученные точки ломаной линией, строят напорную линию.

Для построения пьезометрической линии необходимо на чертеже в каждом сечении отложить вниз от напорной линии величины скоростных напоров и соединить полученные точки. То есть пьезометрический напор в каждом сечении $H_{\text{Пх}}$ может быть найден, как разность напоров: гидродинамического H_x и скоростного H_u

$$H_{\text{Пх}} = H_x - H_u. \quad (5.5)$$

5.1.1. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле самотечной линии для варианта А

Вначале наносят на чертеж в выбранном масштабе продольный профиль самотечного трубопровода. Затем определяют ординаты напорной линии.

При

$$\begin{aligned} \ell_0 &= 0 & H_0 &= H_{\text{нач}} = Z_0, \\ \ell_1 &= \ell_0 & H_1 &= Z_0 - h_{\text{мс}}, \end{aligned} \quad (5.6)$$

где $h_{\text{мс}}$ – местные потери напора в предохранительной сетке

$$h_{\text{мс}} = \zeta_c \cdot \frac{V^2}{2g}; \quad (5.7)$$

V – расчетная скорость движения воды в самотечной линии, определена в п. 4.1;

ζ_c – коэффициент сопротивления предохранительной сетки, см. бланк задания, Приложение 1.

При

$$\ell_2 = \ell_1 + \ell_{\text{сам}} \quad H_2 = Z_0 - h_{\text{мс}} - h_\ell, \quad (5.8)$$

где h_ℓ – потери по длине самотечной линии, определены в п. 4.2;

$\ell_{\text{сам}}$ – длина самотечной линии, см. бланк задания, Приложение 1.

При

$$\ell_3 = \ell_2 \quad H_3 = H_{\text{конечн}} = Z_0 - h_{\text{мс}} - h_\ell - h_{\text{мвых}}, \quad (5.9)$$

где $h_{\text{мвых}}$ – местные потери напора на выходе из самотечной трубы

$$h_{\text{мвых}} = \zeta_{\text{вых}} \cdot \frac{V^2}{2g}; \quad (5.10)$$

$\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления на выходе из самотечной трубы, см. бланк задания, Приложение 1.

Далее находят ординаты пьезометрической линии по формуле (5.5) и (5.3), принимая значение коэффициента Кориолиса $\alpha=1,0$.

На чертеже (рисунок 5.1) напорную линию лучше изобразить сплошной, а пьезометрическую – штриховой линией, чтобы графики не сливались друг с другом.

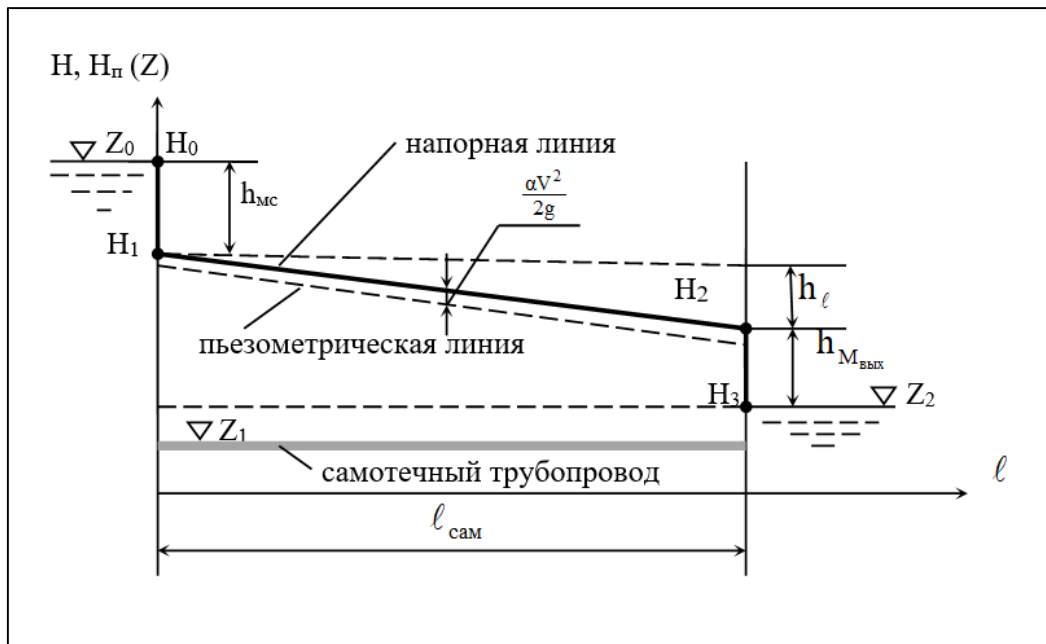


Рисунок 5.1 – Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле самотечной трубы

5.1.2. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле дюкера для варианта задания Б

Вначале наносят на чертеж продольный профиль дюкера. Затем определяют ординаты напорной линии в начале, в конце и точках перелома профиля (в местах расположения местных сопротивлений).

При

$$\begin{aligned} \ell_0 &= 0 & H_0 &= Z_0, \\ \ell_1 &= \ell_0 & H_1 &= Z_0 - \zeta_{\text{вх}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \end{aligned} \quad (5.11)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления на входе в дюкер, см. бланк задания, Приложение 1;
 V – расчетная скорость движения воды в дюкере, определена в п. 4.1.

При

$$\ell_2 = \ell_1 + \ell_{I-II} \quad H_2 = H_1 - h_{\ell_1}, \quad (5.12)$$

где h_{ℓ_1} – потери по длине на первом участке дюкера при том, что дюкер состоит из пяти участков одинаковой длины.

При

$$\ell_3 = \ell_2 \quad H_3 = H_2 - \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.13)$$

где $\zeta_{\text{п}}$ – коэффициент сопротивления на повороте дюкера, см. бланк задания, Приложение 1.

При

$$\ell_4 = \ell_3 + \ell_{II-III} \quad H_4 = H_3 - h_{\ell_2}, \quad (5.14)$$

где h_{ℓ_2} – потери по длине на втором участке дюкера, равны h_{ℓ_1} .

При

$$\ell_5 = \ell_4 \quad H_5 = H_4 - \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.15)$$

$$\ell_6 = \ell_5 + \ell_{III-IV} \quad H_6 = H_5 - h_{\ell_3}, \quad (5.16)$$

где h_{ℓ_3} – потери по длине на третьем участке дюкера, равны h_{ℓ_1} .

При

$$\ell_7 = \ell_6 \quad H_7 = H_6 - \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.17)$$

$$\ell_8 = \ell_7 + \ell_{IV-V} \quad H_8 = H_7 - h_{\ell_4}, \quad (5.18)$$

где h_{ℓ_4} – потери по длине на четвертом участке дюкера, равны h_{ℓ_1} .

При

$$\ell_9 = \ell_8 \quad H_9 = H_8 - \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.19)$$

$$\ell_{10} = \ell_9 + \ell_{V-VI} \quad H_{10} = H_9 - h_{\ell_5}, \quad (5.20)$$

где h_{ℓ_5} – потери по длине на последнем участке дюкера, равны h_{ℓ_1} .

При

$$\ell_{11} = \ell_{10} \quad H_{11} = H_{10} - \zeta_{\text{вых}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.21)$$

где $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления на выходе из дюкера, см. бланк задания, Приложение 1.

Здесь ℓ_{I-II} , ℓ_{II-III} , ℓ_{III-IV} , ℓ_{IV-V} , ℓ_{V-VI} – расстояния между соответствующими сечениями дюкера.

Далее находят ординаты пьезометрической линии по формулам (5.3) и (5.5). В результате проведенных расчетов строят график (рисунок 5.2).

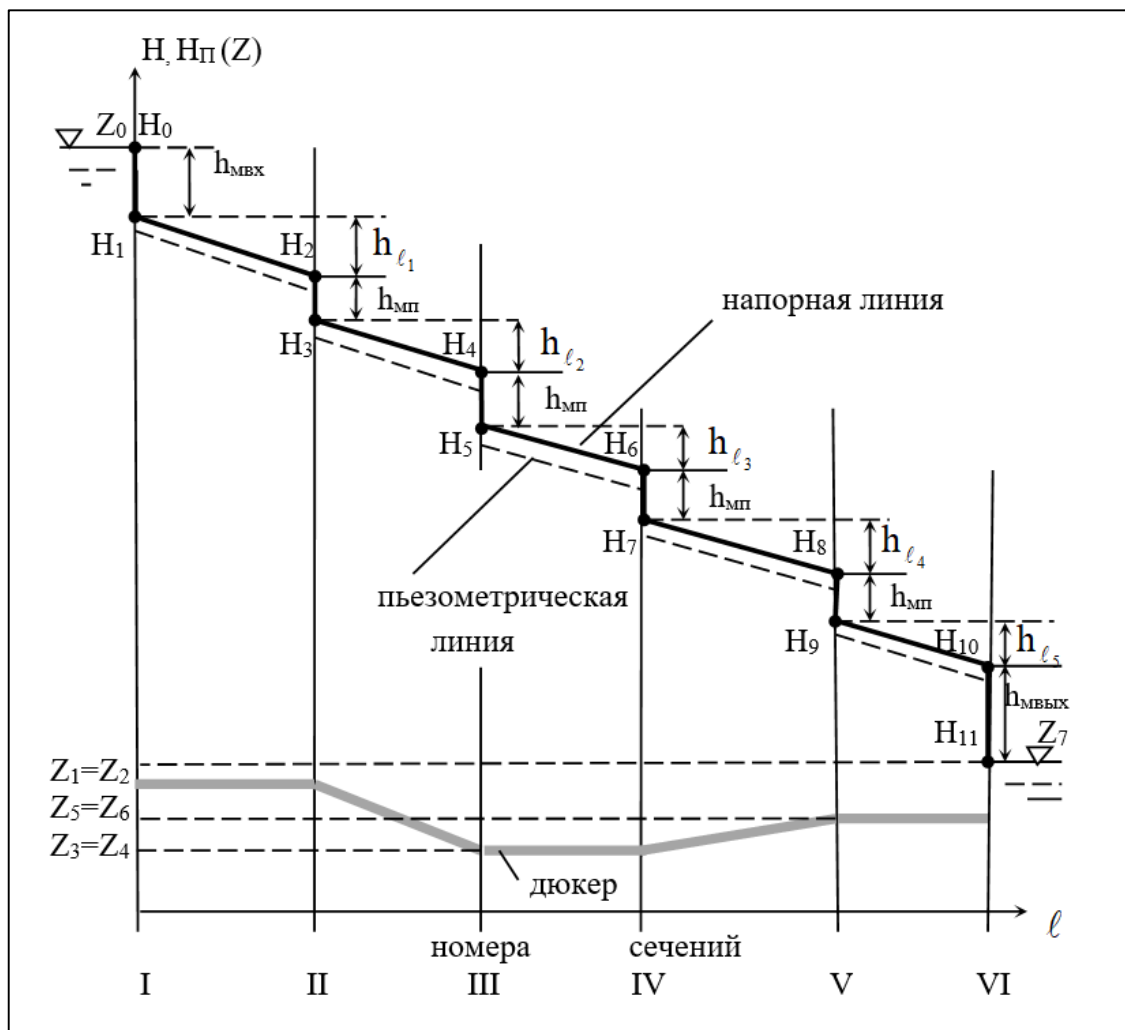


Рисунок 5.2 – Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле дюкера

5.1.3. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле сифона для варианта В

Начинают построение графика с нанесения на чертеж продольного профиля сифона. Затем определяют ординаты напорной линии в начале, в конце и точках перелома профиля.

При

$$\begin{aligned} \ell_0 &= 0 & H_0 &= Z_0, \\ \ell_1 &= \ell_0 & H_1 &= H_0 - \zeta_c \cdot \frac{V^2}{2g}, \end{aligned} \quad (5.22)$$

где ζ_c – коэффициент сопротивления сетки, см. бланк задания, Приложение 1;
 V – расчетная скорость движения воды в сифоне, определена в п. 4.1.

При

$$\ell_2 = \ell_1 + \ell_{I-II} \quad H_2 = H_1 - h_{\ell_{\text{накл}}}, \quad (5.23)$$

где ℓ_{I-II} – расстояние между I и II сечениями сифона;
 $h_{\ell_{\text{накл}}}$ – потери по длине в наклонном участке трубы сифона, см. п. 4.3.

При

$$\ell_3 = \ell_2 \quad H_3 = H_2 - \zeta_{\text{кол}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.24)$$

где $\zeta_{\text{кол}}$ – коэффициент сопротивления колена сифона, см. бланк задания, Приложение 1.

При

$$\ell_4 = \ell_3 \quad H_4 = H_3 - h_{\ell_{\text{верт}}}, \quad (5.25)$$

где $h_{\ell_{\text{верт}}}$ – потери по длине в вертикальном участке сифона определяют по (4.7).

При

$$\ell_5 = \ell_4 \quad H_5 = H_4 - \zeta_{\text{вых}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.15)$$

где $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления на выходе из сифона, см. бланк задания, Приложение 1.

Далее по формулам (5.3) и (5.5) находят ординаты пьезометрической линии. По результатам расчетов строят график (рисунок 5.3).

5.1.4. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле сифона для варианта задания Г

Построение ведется для одного из двух сифонов, т.к. они абсолютно идентичны друг другу (рисунок 5.4).

Продольный профиль сифона наносят на чертеж в выбранном масштабе и определяют ординаты напорной линии в начале, в конце и точках перелома профиля.

При

$$\begin{aligned} \ell_0 &= 0 & H_0 &= Z_1, \\ \ell_1 &= \ell_0 & H_1 &= Z_1 - \zeta_c \cdot \frac{V^2}{2g}, \end{aligned} \quad (5.27)$$

где ζ_c – коэффициент сопротивления сетки на входе в сифон, см. бланк задания, Приложение 1.

При

$$\ell_2 = \ell_1 \quad H_2 = H_1 - h_{\ell_{\text{верт.АБ}}}, \quad (5.28)$$

где $h_{\ell_{\text{верт.АБ}}}$ – потери по длине в вертикальных участках труб сифонов в шахтных колодцах «А» и «Б», определяют по (4.7).

При

$$\ell_3 = \ell_2 \quad H_3 = H_2 - \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.29)$$

где $\zeta_{\text{п}}$ – коэффициент сопротивления поворота трубы, см. бланк задания, Приложение 1.

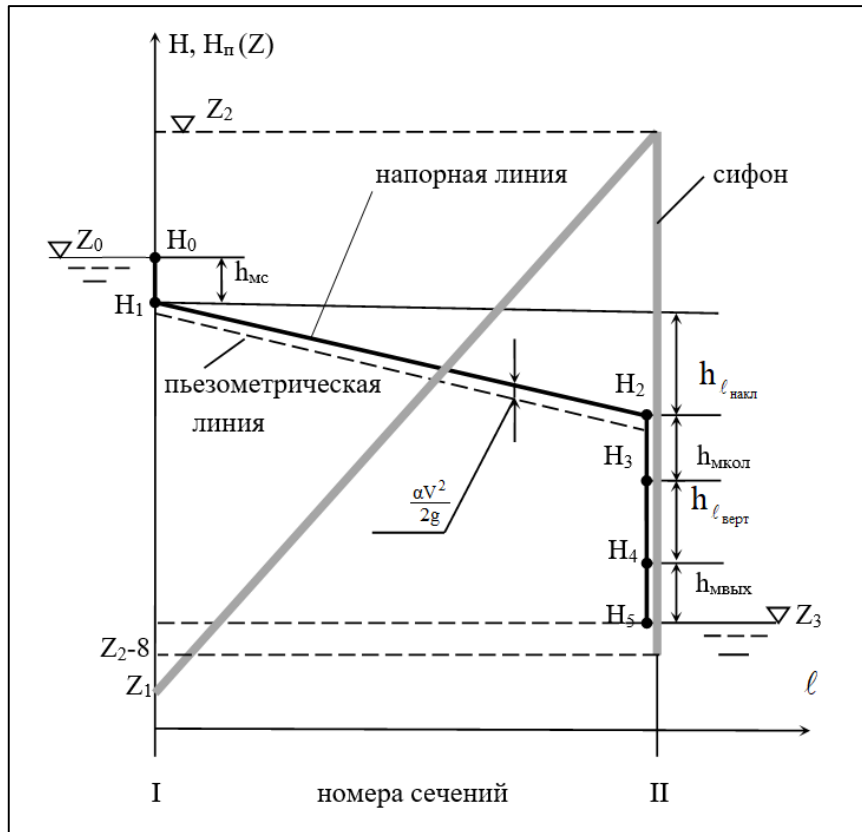


Рисунок 5.3 – Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле сифона для варианта В

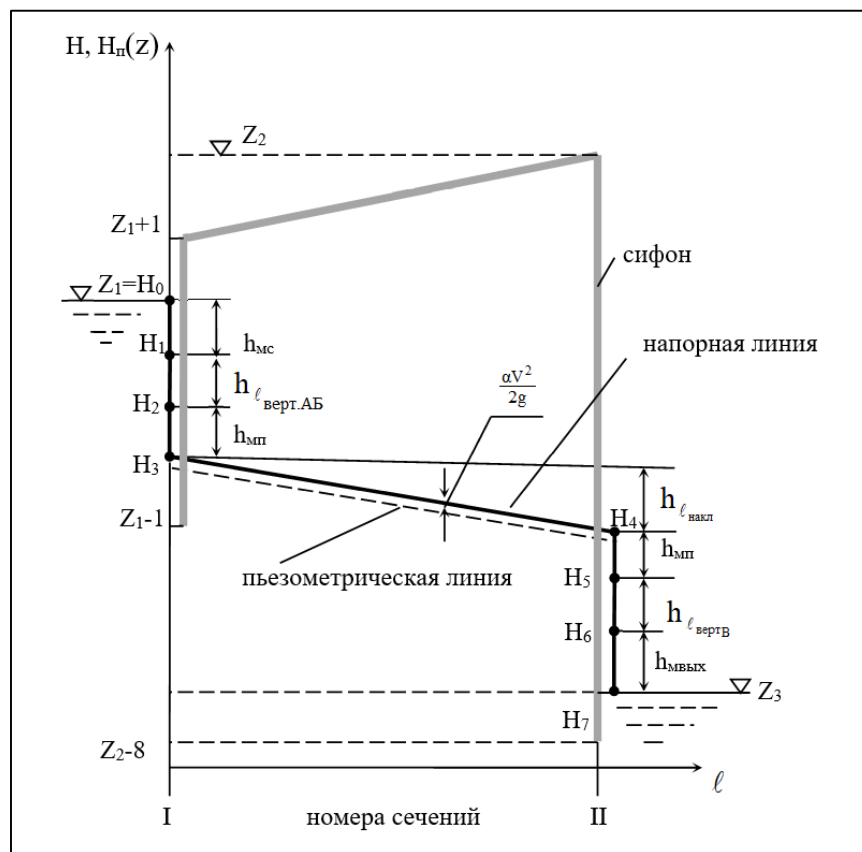


Рисунок 5.4 – Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле сифона для варианта Г

При

$$\ell_4 = \ell_3 + \ell_{I-II} \quad H_4 = H_3 - h_{\ell_{\text{накл}}}, \quad (5.30)$$

где ℓ_{I-II} – расстояние между I и II сечениями сифона;

$h_{\ell_{\text{накл}}}$ – потери по длине в наклонном участке трубы сифона, определяют по (4.7).

При

$$\ell_5 = \ell_4 \quad H_5 = H_4 - \zeta_{II} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.31)$$

$$\ell_6 = \ell_5 \quad H_6 = H_5 - h_{\ell_{\text{верт.В}}}, \quad (5.32)$$

где $h_{\ell_{\text{верт.В}}}$ – потери по длине в вертикальном участке трубы сифона в сборном колодце «В», определяют по (4.7).

При

$$\ell_7 = \ell_6 \quad H_7 = H_6 - \zeta_{\text{вых}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.33)$$

где $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления на выходе из сифона, см. бланк задания, Приложение 1.

Затем находят ординаты пьезометрической линии.

5.2. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода для вариантов задания Б, В и Г

Во всех вариантах задания водовод начинается от насоса и заканчивается у водонапорной башни. При построении пьезометрической линии для водовода необходимо определить пьезометрические напоры во всех сечениях водовода: в начале, в конце водовода, а также в сечениях, соответствующих изменению условий протекания жидкости в водоводе (изменение расхода, диаметра трубы, разветвление трубопровода). Эти напоры могут быть определены по формуле

$$H_{\text{пх}} = H_{\text{пнач}} - \sum_{\text{нач}}^x h_w, \quad (5.34)$$

где $H_{\text{пх}}$ – пьезометрический напор в данном сечении водовода;

$H_{\text{пнач}}$ – пьезометрический напор в начальном сечении водовода (у насоса);

$\sum_{\text{нач}}^x h_w$ – сумма потерь напора на всех участках водовода от его начала до рассматриваемого сечения.

Пьезометрический напор в начальном сечении водовода определяют без учета потерь напора во всасывающем трубопроводе насоса по формуле

$$H_{\text{пнач}} = Z_{\text{кол}} + H_{\Gamma} + h_{w_{\text{вод}}}, \quad (5.35)$$

где $Z_{\text{кол}}$ – отметка свободной поверхности воды в сборном колодце «Б» (для вариантов задания А, Б, В) или «В» (для варианта Г), см. п. 4.2;

H_{Γ} – геодезическая высота подъема воды; см п. 4.7;

$h_{w_{\text{вод}}}$ – потери напора в водоводе, см. п. 4.7.

Пьезометрическая линия должна быть построена в соответствующих горизонтальном и вертикальном масштабах, которые выбираются таким образом, чтобы размер чертежа как по вертикали, так и по горизонтали составлял 15-20 см. Предварительно на чертеж наносят линию земли и продольный профиль трубопровода в выбранном масштабе.

5.2.1. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 9-14 для варианта Б

Определяют ординаты пьезометрической линии.

В начальном 9 сечении водовода

$$H_{\text{п0}} = H_{\text{пнач}} = Z_7 + H_{\Gamma} + h_{w_{\text{вод}}}, \quad (5.36)$$

в 10 сечении

$$H_{п1} = H_{п0} - h_{w1}, \quad (5.37)$$

где h_{w1} – потери напора на участках водовода (9-10, 10-11, 12-13, 13-14), по которым проходит половинный расход, определяют по формуле (2.4).

В 11 сечении водовода

$$H_{п2} = H_{п0} - 2 \cdot h_{w1}, \quad (5.38)$$

в 12 сечении

$$H_{п3} = H_{п0} - 2 \cdot h_{w1} - h_{w2}, \quad (5.39)$$

где h_{w2} – потери напора на участке водовода, по которому проходит полный расход (11-12), определяют по формуле (2.4).

В 13 сечении водовода

$$H_{п4} = H_{п0} - 3 \cdot h_{w1} - h_{w2}, \quad (5.40)$$

в 14 сечении

$$H_{п5} = H_{п0} - 4 \cdot h_{w1} - h_{w2}. \quad (5.41)$$

Отложив найденные величины напоров в соответствующих сечениях водовода в выбранном масштабе и соединив намеченные точки ломаной линией, получают пьезометрическую линию на продольном профиле водовода (рисунок 5.5).

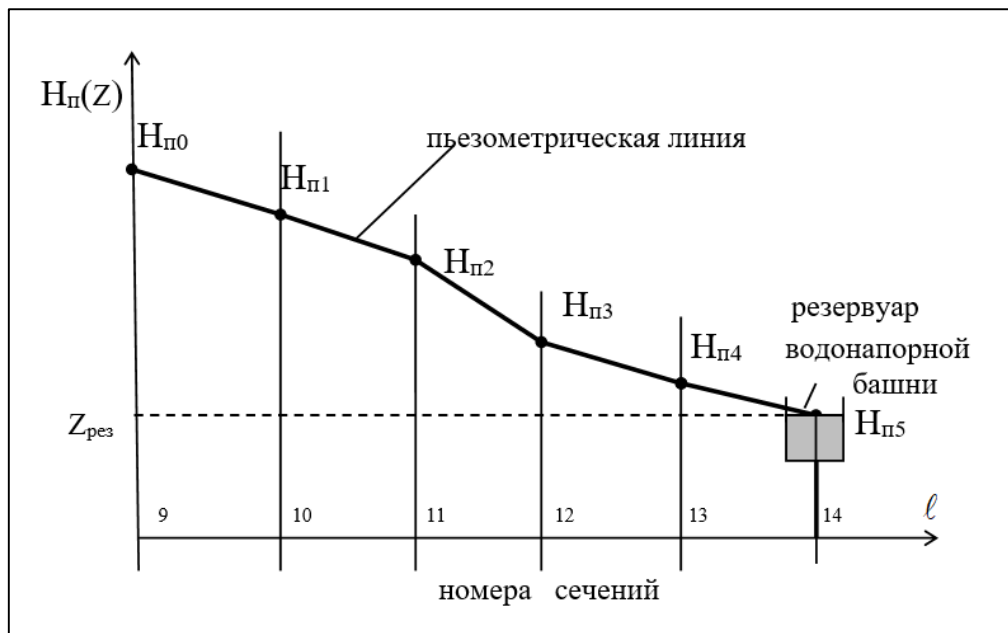


Рисунок 5.5 – Пьезометрическая линия на профиле водовода для варианта Б

5.2.2. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 5-6-10 для варианта В

Определяют ординаты пьезометрической линии (рисунок 5.6).

В начальном 5 сечении водовода

$$H_{п0} = H_{пнач} = Z_3 + H_{Г} + h_{w_{вод}}, \quad (5.42)$$

в 6 сечении

$$H_{п1} = H_{п0} - h_{w_{5-6}}, \quad (5.43)$$

где $h_{w_{5-6}}$ – потери напора на участке 5-6 водовода, см. п. 4.7.

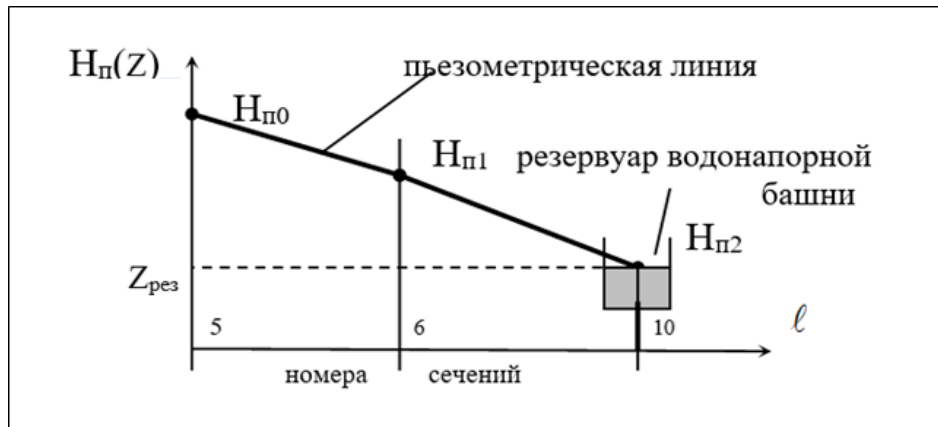


Рисунок 5.6 – Пьезометрическая линия на профиле водовода для варианта В

В 10 сечении водовода

$$H_{п2} = H_{п0} - h_{w5-6} - h_{w6-10}$$

где h_{w6-10} – потери напора на участке 6-10 водовода, см. п. 4.7.

5.2.3. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 7-10 для варианта Г

Определяют ординаты пьезометрической линии (рисунок 5.7).

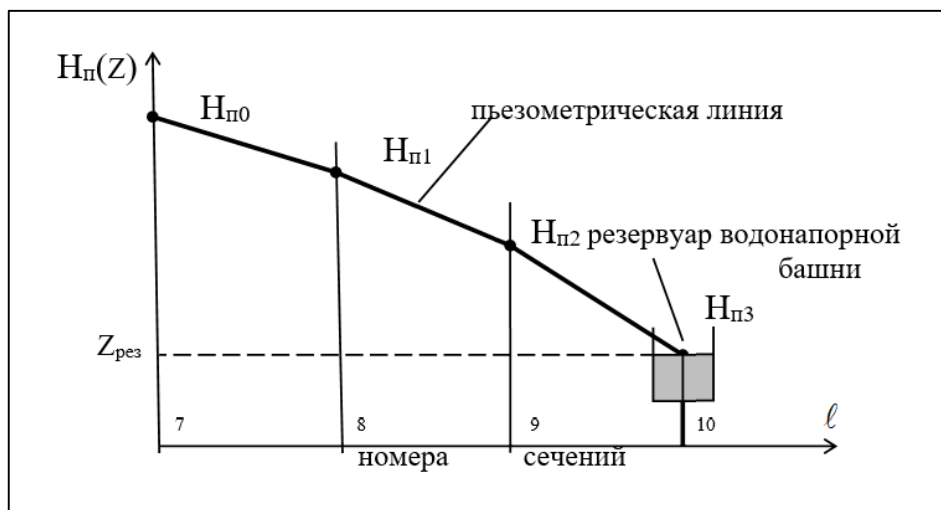


Рисунок 5.7 – Пьезометрическая линия на профиле водовода для варианта Г

В начальном 7 сечении водовода

$$H_{п0} = Z_3 + H_{\Gamma} + h_{w_{вод}}, \quad (5.45)$$

в 8 сечении

$$H_{п1} = H_{п0} - h_{w7-8}, \quad (5.46)$$

где h_{w7-8} – потери напора на участке 7-8 водовода, см. п. 4.7.

В 9 сечении водовода

$$H_{п2} = H_{п0} - h_{w7-8} - h_{w8-9}, \quad (5.47)$$

где h_{w8-9} – потери напора в гидравлически параллельном соединении труб на среднем участке водовода, см. п. 4.7.

В 10 сечении водовода

$$H_{п3} = H_{п0} - h_{w7-8} - h_{w8-9} - h_{w9-10}, \quad (5.48)$$

где h_{w9-10} – потери напора на участке 9-10 водовода, см. п. 4.7.

5.3. Построение пьезометрической линии на продольном профиле разводящей сети (магистрального направления)

Для построения пьезометрической линии магистральное направление разводящей сети разворачивают в плоскость чертежа. Пьезометрические напоры в узлах магистрального направления были определены в п. 4.9.5. Откладывая их величины в соответствующих сечениях в выбранном масштабе на чертеже и соединяя полученные точки ломаной линией, можно построить пьезометрическую линию. Для этого на чертеж предварительно наносят линию земли и продольный профиль трубопровода.

Масштабы выбирают аналогично тому, как это делалось при построении пьезометрической линии для водовода.

В варианте А магистральным направлением может быть либо направление 7-8-9-12, либо 7-8-9-13. Для примера построим пьезометрическую линию для направления 7-8-9-12 (рисунок 5.8).

В варианте задания Б магистральным является направление 15-16-17-18 (рисунок 5.9).

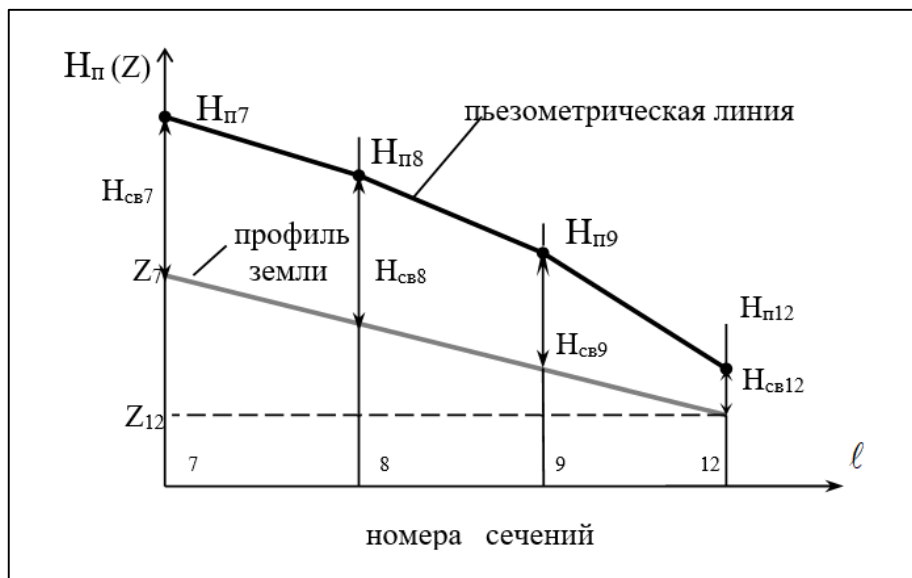


Рисунок 5.8 – Пьезометрическая линия на профиле магистрального направления для варианта А

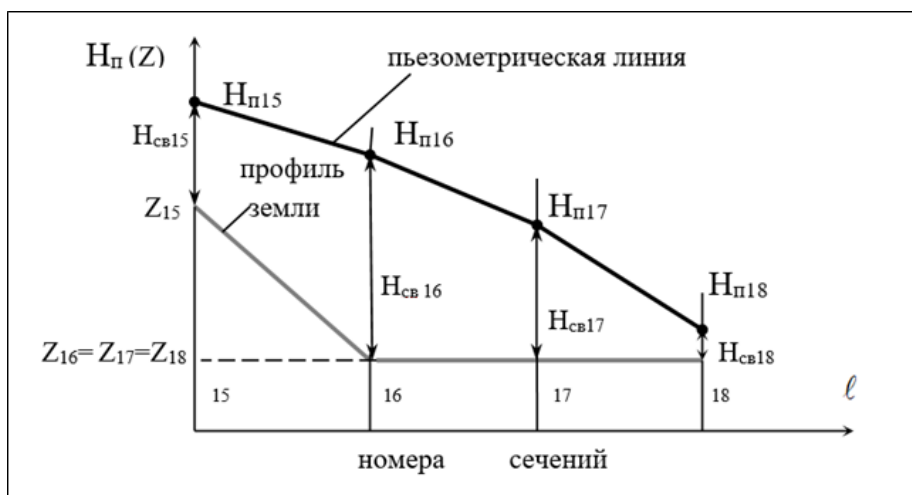


Рисунок 5.9 – Пьезометрическая линия на профиле магистрального направления для варианта Б

Магистральным направлением для варианта В будет 10-6-7-8 (рисунок 5.10).

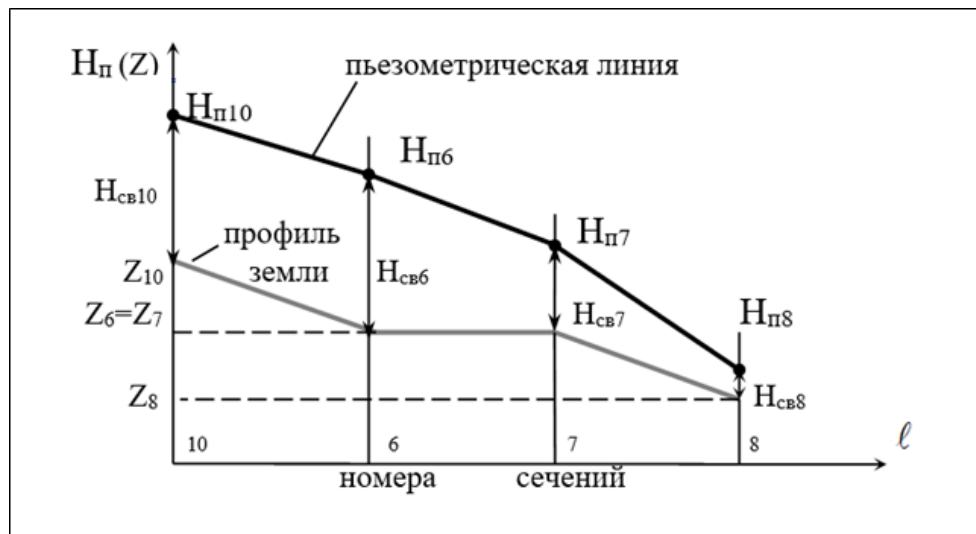


Рисунок 5.10 – Пьезометрическая линия на профиле магистрального направления для варианта В

Наконец для варианта Г магистральным будет направление либо 11-12-13, либо 11-12-14, либо 11-12-15. В качестве примера построим пьезометрическую линию для 11-12-13 (рисунок 5.11).

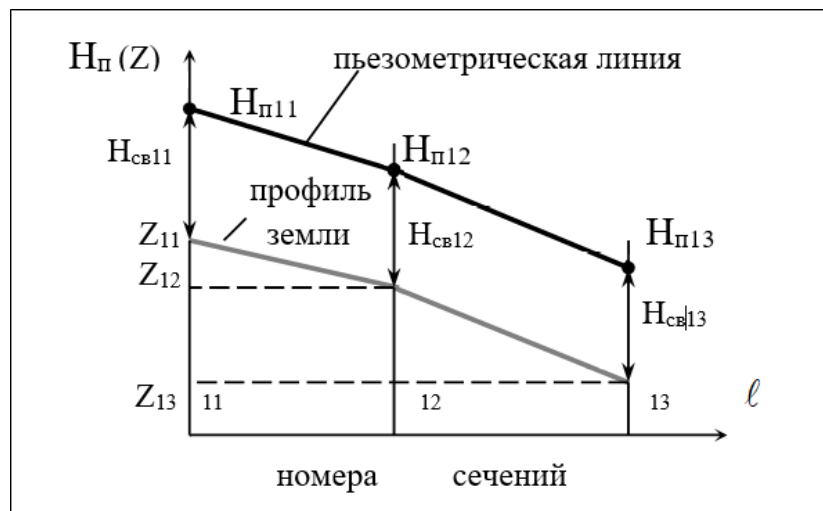


Рисунок 5.11 – Пьезометрическая линия на профиле магистрального направления для варианта Г

6. Методика автоматизированных расчетов

6.1. Краткое описание интерфейса Mathcad

К элементам интерфейса системы *Mathcad 15* можно отнести: строку главного меню в верхней части окна программы; панели инструментов *Стандартная* и *Форматирование*; панель инструментов *Математические*, открывающая доступ к дополнительным математическим панелям инструментов; рабочую область; строку состояния; всплывающие или контекстные меню, (рисунок 6.1). С подробным описанием интерфейса *Mathcad* можно ознакомиться в [10, 11], ниже будут представлены лишь краткие сведения.

Главное меню системы содержит следующие опции, (рисунок 6.1): *Файл* – работа с файлами (открытие, сохранение, вывод на печать); *Правка* – редактирование документа (копирование, вставка, удаление фрагментов); *Вид* – настройка элементов интерфейса системы (панель инструментов, строка состояния и пр.); *Вставка* – организация вставок объектов (графиков, матриц, функций, единиц измерения, рисунков и т.п.) в документ; *Формат* – изменение параметров, определяющих внешнее представление чисел, формул, текста; *Инструменты* – управление процессом вычислений; *Символьные операции* – организация работы символьного процессора; *Окно* – управление расположением окон с документами на экране; *Справка* – вызов справочной информации, организация доступа к ресурсам и электронным книгам, предоставление сведений о версии программы. Для пользователя, имеющего навыки работы с приложениями *Windows*, большая часть опций, несомненно, знакома.

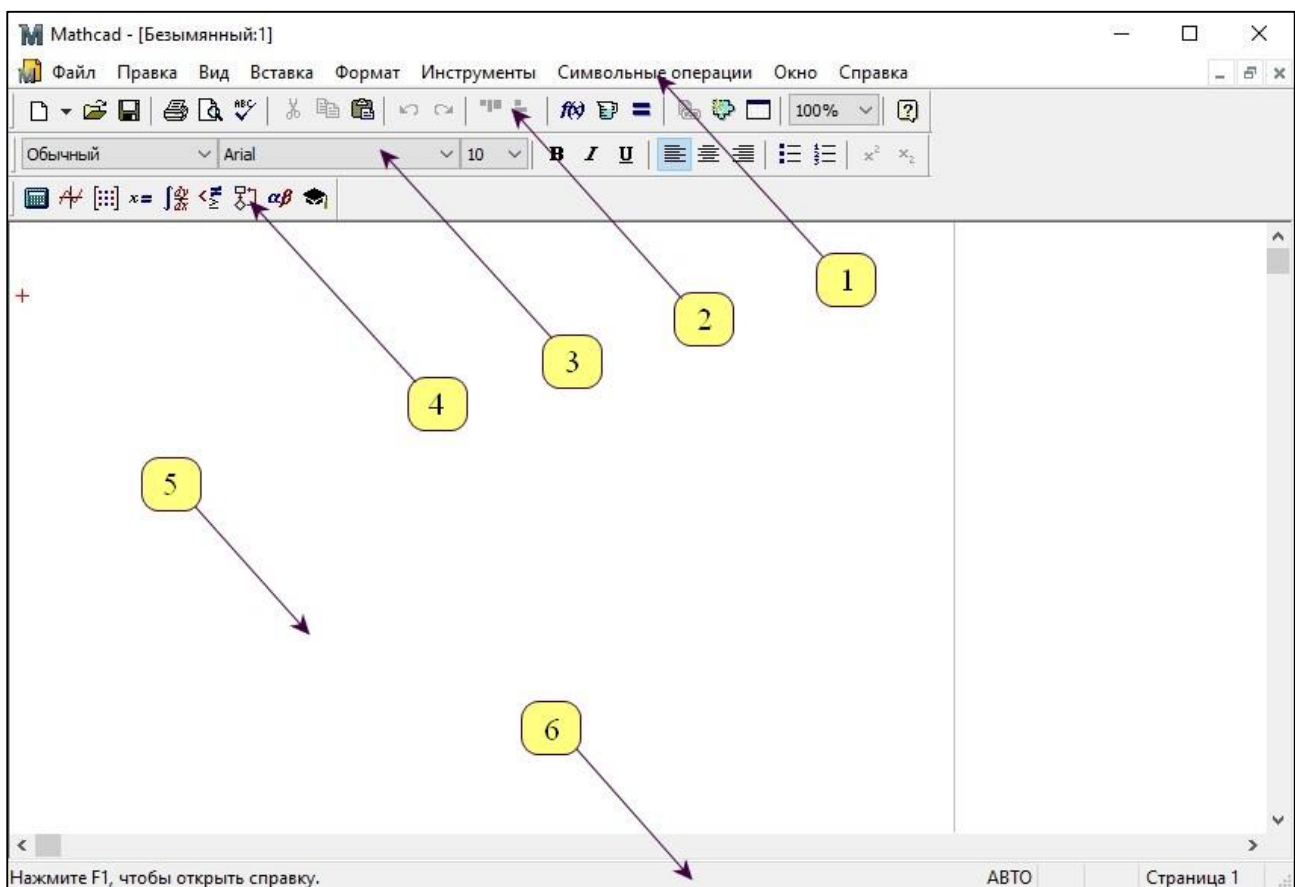


Рисунок 6.1 – Элементы интерфейса системы *Mathcad 15*:

- 1 – строка главного меню; 2 – панель инструментов *Стандартная*; 3 – панель инструментов *Форматирование*; 4 – панель инструментов *Математические*; 5 – рабочая область; 6 – строка состояния с информацией о работе приложения

Панели инструментов содержат набор кнопок (пиктограмм), позволяющих осуществить быстрый доступ к наиболее часто используемым командам или функциям при работе с системой *Mathcad*. Необходимо отметить, что вызов этих команд можно организовать и через главное меню. При наведении указателя мыши на любую из кнопок панели инструментов рядом с ней появляется всплывающая подсказка – короткий текст, поясняющий назначение данной кнопки.

Команды панели инструментов *Стандартная* служат в основном для выполнения таких операций, как работа с файлами, правка документа, вставка объектов и доступ к справочной системе. Помимо этих стандартных операций доступных во многих приложениях *Windows*, присутствуют и специфические команды, такие как *Вставить функцию*, *Вставить единицу измерения*, *Рассчитать* и др.

Панель инструментов *Форматирование* содержит средства для выполнения команд форматирования текста и формул, таких как изменение типа и размера шрифта, задания полужирного, курсивного или подчеркнутого начертания символов, выравнивания текста, создания нумерованных и ненумерованных списков.

Пиктограммы панели инструментов *Математические* служат для организации доступа к девяти математическим панелям (рисунок 6.2), обеспечивающим ввод математических символов и операторов в документ.

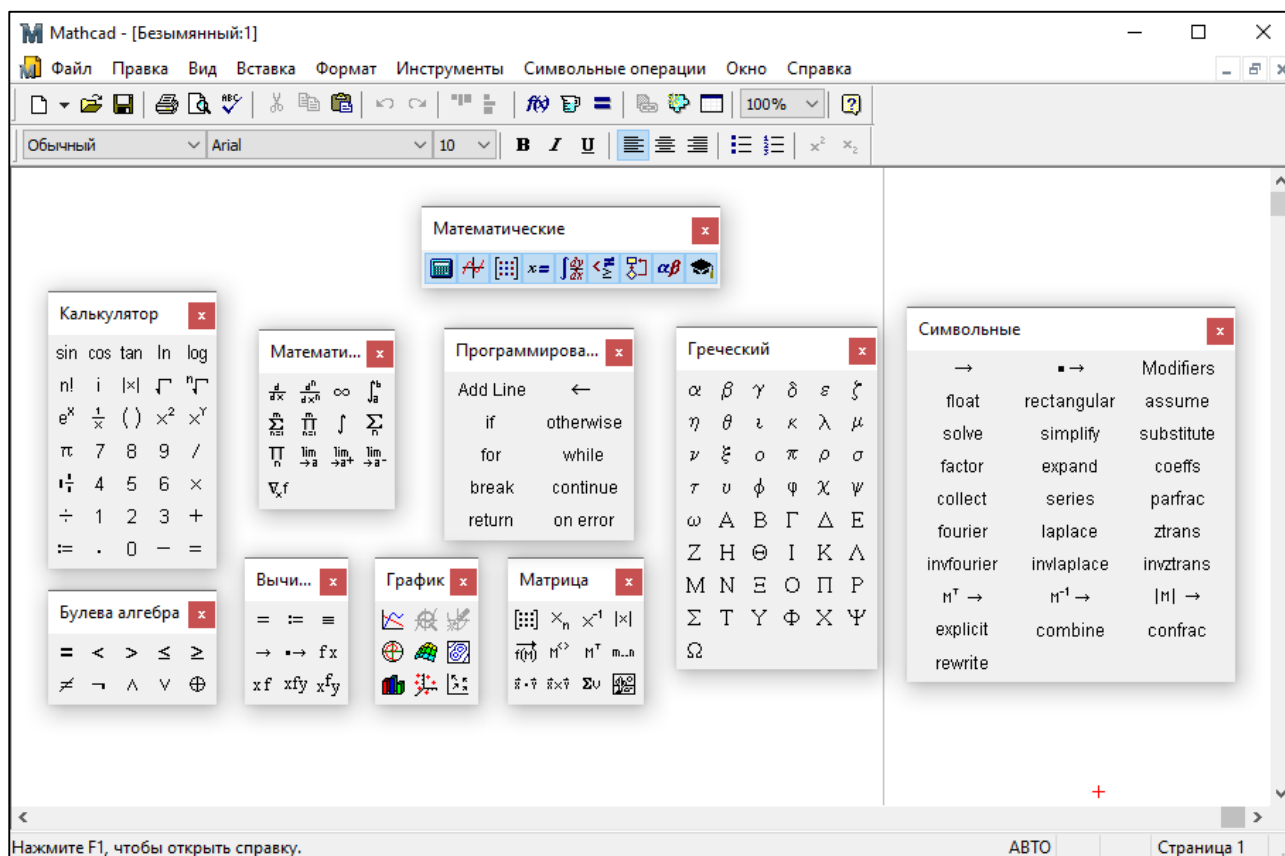


Рисунок 6.2 – Открытые с помощью пиктограмм математические панели

Панель *Калькулятор* служит для ввода основных математических операций, панель *График* – для вставки графиков различных видов в документ, панель *Матрица* – для работы с матрицами и векторами. В панели *Вычисления* сгруппированы операторы управления вычислениями, в панели *Математический анализ* – операторы дифференцирования, интегрирования, суммирования, определения предела. Панель *Булева алгебра* предназначен для ввода логических операторов. Панель *Программирование* открывает доступ к средствам программирования *Mathcad*. Панель *Греческий* содержит греческие символы. Панель *Символьные* служит для вставки операторов символьных вычислений. Положение любой

математической панели в рабочей области окна можно менять, перетаскивая мышью панель за заголовок.

Большую часть окна *Mathcad* занимает рабочая область, в которой происходит набор математических выражений, элементов программирования, текстовых комментариев и графических построений. Текст, математические формулы и графики располагаются внутри отдельных блоков. Для того чтобы показать или скрыть границы блоков, следует включить или отключить опцию *Границы* в меню *Вид*. По умолчанию эта опция отключена. На рисунках 6.3 и 6.4 показан соответственно вид документа с отключенной и включенной опцией *Границы*. Расположение вычислительных блоков, блоков графики и блоков вывода результатов расчета в документе *Mathcad* имеет очень важное значение, их выполнение происходит справа-налево и сверху-вниз. Это означает, например, что для построения графика функции вначале должны выполняться блоки, задающие саму функцию и пределы изменения аргумента, и только затем должен следовать блок построения графика функции. Любой блок может быть легко с помощью мыши «перетаскиванием» перемещен в любое место документа, однако, пользователю документов-шаблонов гидравлических расчетов следует иметь в виду, что этим может быть нарушена четкая последовательность вычислительного алгоритма и приложение *Mathcad* выдаст сообщение об ошибке.

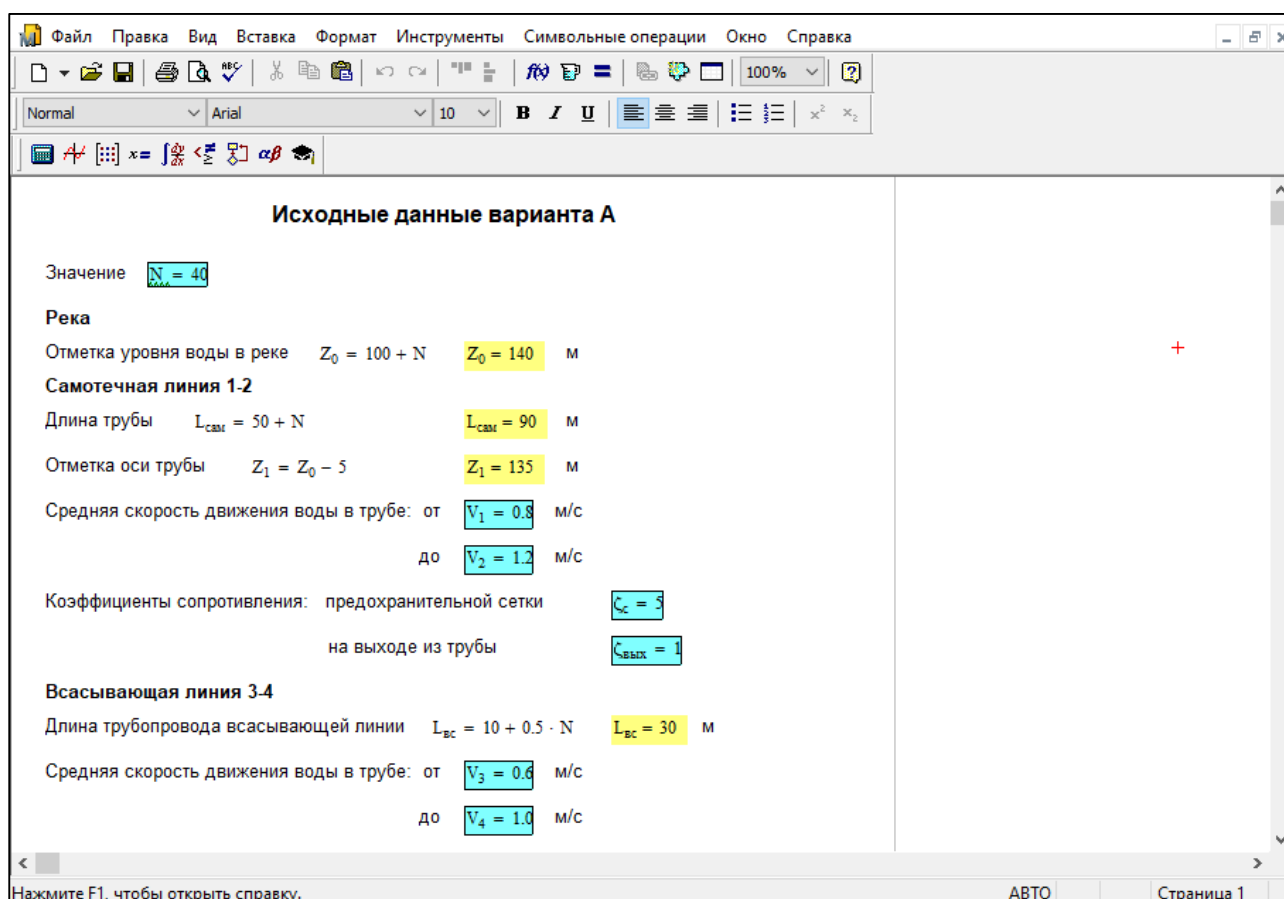


Рисунок 6.3 – Вид фрагмента документа *Mathcad* с отключенной опцией *Границы*

При выполнении самостоятельной работы по гидравлическому расчету напорных трубопроводов с применением системы *Mathcad* студенту не следует самому формировать документ, включающий блок исходных данных, расчетную и графическую части. Студенту будет предложено использовать документ-шаблон для расчета конкретного задания, который подлежит частичному редактированию.

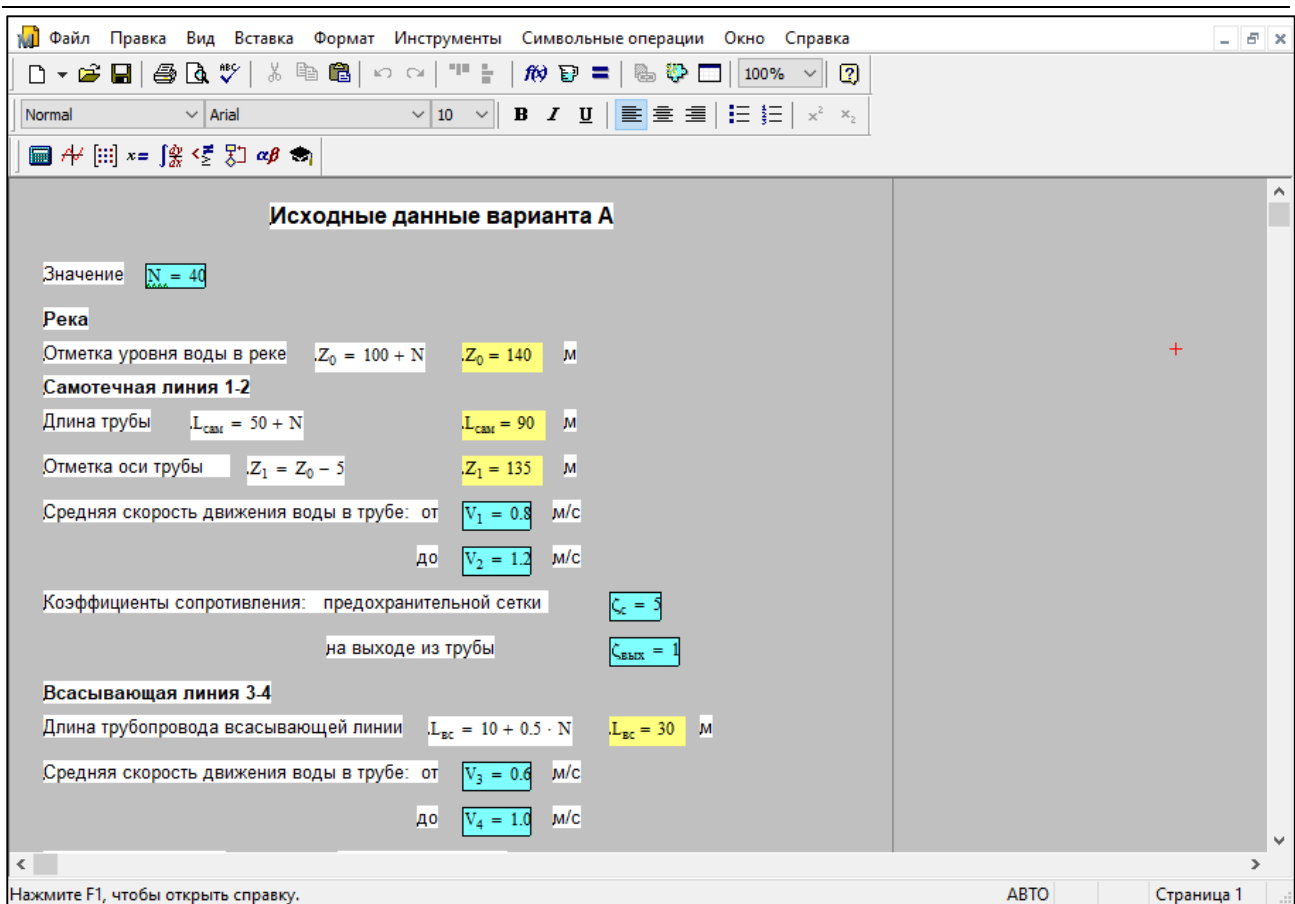


Рисунок 6.4 – Вид фрагмента документа *Mathcad* с включенной опцией *Границы*

Документы-шаблоны имеют большой объем, поэтому внутри документа можно будет наблюдать горизонтальные пунктирные линии раздела страниц. Эти линии показывают, каким образом будет произведено разбиение на страницы при распечатке документа на принтере. Для изменения параметров страницы необходимо воспользоваться командой *Параметры страницы* меню *Файл*. При редактировании документа следует не допускать попадания линии раздела страниц на блоки.

При работе с документом *Mathcad* пользователю необходимо отличать знак присваивания $:=$ от знака вывода результата вычислений $=$. Причем двоеточие знака присваивания проявляется только тогда, когда блок вычислений активизируется, т.е. на формулу наводится курсор и нажимается левая клавиша мыши. Активизируемый блок при этом выделяется черной рамкой. Сравните вид знака присваивания в формуле определения отметки уровня воды в реке до ее активизации (рисунок 6.3) и после (рисунок 6.5). Для удобства пользователя те блоки присваивания, которые необходимо редактировать выделены голубым цветом и заключены в рамку. Блоки с формулами расчета отдельных показателей никак не выделены в тексте, блоки с выводом результатов вычислений выделены желтой заливкой. И те, и другие не подлежат изменению. Так же должны оставаться неизменными блоки с графическими построениями и частично с текстовыми комментариями.

Текстовые комментарии, выделенные красной заливкой нужны пользователю только в процессе расчета для уточнения дальнейшего принятия решения на каком-либо этапе. При оформлении итогового документа необходимость в них отпадает, и они должны быть удалены и заменены формулировкой (текстом) – «Условие выполняется». Сравните вид фрагмента исходного (рисунок 6.15) и окончательно оформленного документа *Mathcad* (рисунок 6.88).

Исходные данные варианта А

Значение $N = 40$

Река
Отметка уровня воды в реке $Z_0 := 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Самотечная линия 1-2
Длина трубы $L_{сам} = 50 + N$ $L_{сам} = 90$ м

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5$ $Z_1 = 135$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_1 = 0.8$ м/с
до $V_2 = 1.2$ м/с

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $C_c = 5$
на выходе из трубы $C_{вых} = 1$

Рисунок 6.5 – Пример формулы присваивания

Поскольку редактирование документа-шаблона сведено к изменению численных значений ряда параметров, получению результатов, часть из которых в дальнейшем позволяет пользователю находить правильное продолжение расчета (пример – определение магистрального направления), что подразумевает удаление части или частей документа содержащих заведомо неверную последовательность расчета. Разберем подробнее эти операции.

Для изменения конкретного значения некоего параметра необходимо активизировать редактируемый блок, наведя на него курсор, и кликнув левой кнопкой мыши. Далее, используя клавиши *Del* или *Backspace*, удаляется старое число до появления местозаполнителя (черный прямоугольник), см. рисунок 6.6, и с клавиатуры вводится новое.

В случае если после активизации редактируемого блока и наведения курсора на исправляемое число произвести двойной клик левой кнопкой мыши, то это приведет к выделению числа (рисунок 6.7), которое будет автоматически удалено сразу после набора нового значения с клавиатуры.

Для удаления части документа, представляющего собой группу отдельных блоков необходимо, протянув мышью с фиксированной левой клавишей по всей группе, выделить входящие в состав нее блоки пунктирной рамкой. После нажатия клавиши *Del* выделенные блоки будут удалены. Пустое пространство, оставшееся от удаленной части документа необходимо ликвидировать. С этой целью следует установить курсор вначале удаленной части и далее, многократно нажимая клавишу *Del*, «подтянуть» нижнюю часть документа.

Процесс редактирования документов-шаблонов может сопровождаться появлением на экране «мусора» – следов от курсора или удаленных символов. В этом случае полезно производить обновление экрана с помощью команды *Обновить* меню *Вид* или комбинации горячих клавиш *Ctrl+R*.

Исходные данные варианта А

Значение $N :=$

Река
 Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Самотечная линия 1-2
 Длина трубы $L_{\text{сам}} = 50 + N$ $L_{\text{сам}} = 90$ м

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5$ $Z_1 = 135$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_1 = 0.8$ м/с
 до $V_2 = 1.2$ м/с

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $C_c = 5$
 на выходе из трубы $C_{\text{вых}} = 1$

Рисунок 6.6 – Вид редактируемого блока после удаления старого числа

Исходные данные варианта А

Значение $N := 40$

Река
 Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Самотечная линия 1-2
 Длина трубы $L_{\text{сам}} = 50 + N$ $L_{\text{сам}} = 90$ м

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5$ $Z_1 = 135$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_1 = 0.8$ м/с
 до $V_2 = 1.2$ м/с

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $C_c = 5$
 на выходе из трубы $C_{\text{вых}} = 1$

Рисунок 6.7 – Выделение редактируемого числа двойным кликом левой кнопки мыши

6.2. Процедура вычислений

При выполнении расчетно-графической работы по гидравлическому расчету напорных трубопроводов с применением системы *Mathcad* студенту предлагается использовать готовый

документ-шаблон для решения конкретной задачи, в который необходимо внести изменения в соответствии с индивидуальным заданием.

Перед тем как приступить к выполнению самостоятельной работы на ЭВМ следует создать директорий, где будут храниться необходимые файлы. Если студент в своих расчетах будет использовать ЭВМ специализированной компьютерной аудитории института или кафедры «Путь и путевое хозяйство» РУТ (МИИТ), то необходимо иметь ввиду, что для хранения файлов пользователей на диске *C* зарезервирована папка *Gidravlika*, внутри которой размещены четыре исходных документа-шаблона для каждого варианта задания (А, Б, В и Г). Эти документы имеют соответствующие имена ГРНТ_А, ГРНТ_Б, ГРНТ_В и ГРНТ_Г. Начальные четыре буквы имени файла являются сокращением названия РГР «Гидравлический расчет напорных трубопроводов». На рисунках 6.8-6.75 представлено содержимое этих документов.

В папке *Gidravlika* студенту следует сформировать директорий пользователя для хранения своих документов, имя которого повторяет номер группы студента. Например, *c:\Gidravlika\CЖД_331*. Поскольку нет гарантии, что по истечении времени будет обеспечена сохранность файлов, находящихся в данной директории, наилучшим решением будет хранение файлов по расчетно-графической работе на личной флешке.

Первым делом следует, запустив *Mathcad*, открыть нужный документ-шаблон (например ГРНТ_А) находящийся по адресу *c:\Gidravlika\ГРНТ_А.xmcd*. Далее необходимо переименовать данный файл, добавив свою фамилию и указать выбранное для его хранения место, например:

c:\Gidravlika\CЖД_331\ГРНТ_А_Ivanov.xmcd

После этого можно приступать к редактированию документа. Редактирование начинается с исправления исходных данных задания. Обращаем внимание еще раз, что блоки с результатами вычислений выделены желтым цветом, а исходные данные подлежащие корректировке, для удобства выделены голубым цветом и заключены в рамку. Для замены конкретного значения необходимо навести курсор на исправляемое число, и кликнуть левой кнопкой мыши, далее, используя клавиши *Del* или *Backspace*, удаляется старое число до появления местозаполнителя (черный прямоугольник) и с клавиатуры вводится новое.

После корректировки исходных данных следует приступить к правке «Расчетной части» документа. Двигаясь по документу сверху вниз и анализируя получаемые результаты, студенту необходимо найти параметры, значения которых следует изменить. В первую очередь это касается расчетного диаметра трубы, размер которой задается по справочной таблице. Для активизации справочной таблицы необходимо навести курсор мыши на выделенную зеленым цветом ссылку табл. и двойным кликом левой клавиши мыши инициировать запуск приложения *MS Word* с открытием файла с именем *Tabl.docx* находящегося по адресу *c:\Gidravlika\Tabl.docx*.

Текстовый файл *Tabl.docx* содержит три справочные таблицы для различного материала труб, позволяющие определять расчетный диаметр труб по ГОСТ, см. таблицы ПЗ.1, ПЗ.2 и ПЗ.3 Приложения 3. После того как нужное число будет найдено, рекомендуем свернуть, а не закрыть приложение *MS Word* с файлом *Tabl.docx*, так как в ходе дальнейшей правки документа *Mathcad* необходимо будет вновь обращаться к нему. Далее в соответствующем месте вставляете нужное число.

Исходные данные варианта А

Значение $N = 40$

Река

Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Самотечная линия 1-2

Длина трубы $L_{сам} = 50 + N$ $L_{сам} = 90$ м

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5$ $Z_1 = 135$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_1 = 0.8$ м/с

до $V_2 = 1.2$ м/с

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $\zeta_c = 5$

на выходе из трубы $\zeta_{вых} = 1$

Всасывающая линия 3-4

Длина трубопровода всасывающей линии $L_{вс} = 10 + 0.5 \cdot N$ $L_{вс} = 30$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_3 = 0.6$ м/с

до $V_4 = 1.0$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{вак} = 6$ м водяного столба

Коэффициенты сопротивления: приемный клапан $\zeta_{кл} = 10$

колена $\zeta_{кол} = 0.33$

Число колен всасывающей линии $N_{кол} = 3$

Насос

Коэффициент полезного действия $\eta = 0.6$

Расход воды, подаваемой по трубе $Q_n = 20 + 0.5 \cdot N$ $Q_n = 40$ л/с

Водовод 5-6

Длина водовода $L_{вод} = 200 + 20 \cdot N$ $L_{вод} = 1 \times 10^3$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_5 = 0.6$ м/с

до $V_6 = 0.9$ м/с

Водонапорная башня Г

Отметки земли у башни $Z_7 = 120 + 1.2 \cdot N$ $Z_7 = 168$ м

Высота ствола башни $H_6 = 12$ м

Высота резервуара $H_{рез} = 4$ м

Рисунок 6.8 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (начало)

Разводящая сеть

Протяженность участков разводящей сети

$$L_{7_8} = 500 \text{ м} \quad L_{8_{11}} = 700 \text{ м} \quad L_{9_{13}} = 600 \text{ м}$$

$$L_{8_9} = 600 \text{ м} \quad L_{8_{10}} = 800 \text{ м} \quad L_{9_{12}} = 700 \text{ м}$$

Отметки земли в точках водопотребления 10,11,12,13

$$Z_{10} = 115 + N \quad Z_{10} = 155 \text{ м}$$

$$Z_{11} = 112 + N \quad Z_{11} = 152 \text{ м}$$

$$Z_{12} = 111 + N \quad Z_{12} = 151 \text{ м}$$

$$Z_{13} = 110 + N \quad Z_{13} = 150 \text{ м}$$

Расход воды в точках водопотребления 10,11,12,13

$$Q_{10} = 20$$

$$Q_{11} = 15 + 0.1 \cdot N \quad Q_{11} = 19 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{12} = 15$$

$$Q_{13} = 10 + 0.1 \cdot N \quad Q_{13} = 14 \text{ м}^3/\text{с}$$

Требуемый (минимальный) свободный напор в точках водопотребления

$$H_{\text{св. min. 10}} = 8 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 11}} = 5 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 12}} = 8 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 13}} = 10 \text{ м}$$

Коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$

Ускорение свободного падения $g = 9.81$

Удельный вес воды $\gamma = 1.0 \text{ кг/дм}^3$

Тип труб (1-новые стальные и чугунные, 2-новые стальные, 3-новые чугунные, 4-асбестоцементные) $T = 4$

Расчетная часть

1. Определение диаметра самоточной линии 1-2

1.1. Средняя скорость течения воды

$$V_{\text{сам. ср}} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad V_{\text{сам. ср}} = 1 \text{ м/с}$$

1.2. Диаметр трубы

$$d_{\text{сам}} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{\text{сам. ср}}}} \quad d_{\text{сам}} = 225.787 \text{ мм}$$

1.3. Используя табл., округляем диаметр трубы до ближайшего большего

стандартного значения $d_{\text{сам. р}} = 235 \text{ мм}$

Рисунок 6.9 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

1.4. При расчетном диаметре трубы средняя скорость течения воды составит

$$V_{\text{сам.р}} = \frac{(1270 \cdot Q_{\text{н}})}{d_{\text{сам.р}}^2} \quad V_{\text{сам.р}} = 0.92 \quad \text{м/с}$$

2. Определение отметки поверхности воды Z_2 в колодце Б

2.1. Значение удельного сопротивления для трубы

$$A_{\text{ус}}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 & \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{array} \right. \end{cases}$$

$$A_{\text{сам}} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{сам.р}}, V_{\text{сам.р}}) \quad A_{\text{сам}} = 2.254$$

2.2. Потери напора по длине трубопровода

$$h_{1,\text{сам}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{сам}} \cdot L_{\text{сам}} \cdot Q_{\text{н}}^2 \quad h_{1,\text{сам}} = 0.325 \quad \text{м}$$

2.3. Местные потери напора

$$h_{\text{м,сам}} = \frac{V_{\text{сам.р}}^2 \cdot (\zeta_{\text{с}} + \zeta_{\text{ввых}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м,сам}} = 0.259 \quad \text{м}$$

2.4. Суммарные потери напора

$$h_{\text{w,сам}} = h_{1,\text{сам}} + h_{\text{м,сам}} \quad h_{\text{w,сам}} = 0.583 \quad \text{м}$$

2.5. Отметка уровня воды в колодце Б

$$Z_2 = Z_0 - h_{\text{w,сам}} \quad Z_2 = 139.417 \quad \text{м}$$

2.6. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле самотечной линии 1-2

Вначале определим абсциссы и ординаты напорной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{сн}_0} &= 0 & H_{\text{сн}_0} &= Z_0 \\ L_{\text{сн}_1} &= L_{\text{сн}_0} & H_{\text{сн}_1} &= H_{\text{сн}_0} - \frac{V_{\text{сам.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{с}}}{2 \cdot g} \end{aligned}$$

Рисунок 6.10 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_А (продолжение)

$$L_{сн2} = L_{сн1} + L_{сам}$$

$$H_{сн2} = H_{сн1} - h_{1,сам}$$

$$L_{сн3} = L_{сн2}$$

$$H_{сн3} = H_{сн2} - \frac{V_{сам,р}^2 \cdot \zeta_{вых}}{2 \cdot g}$$

Определим ординаты пьезометрической линии

$$H_{сп} = H_{сн} - \frac{\alpha V_{сам,р}^2}{2 \cdot g}$$

Получим численные значения

$$L_{сн} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 90 \\ 90 \end{pmatrix}$$

$$H_{сн} = \begin{pmatrix} 140 \\ 139.784 \\ 139.46 \\ 139.417 \end{pmatrix}$$

$$H_{сп} = \begin{pmatrix} 139.953 \\ 139.737 \\ 139.412 \\ 139.369 \end{pmatrix}$$

Строим график

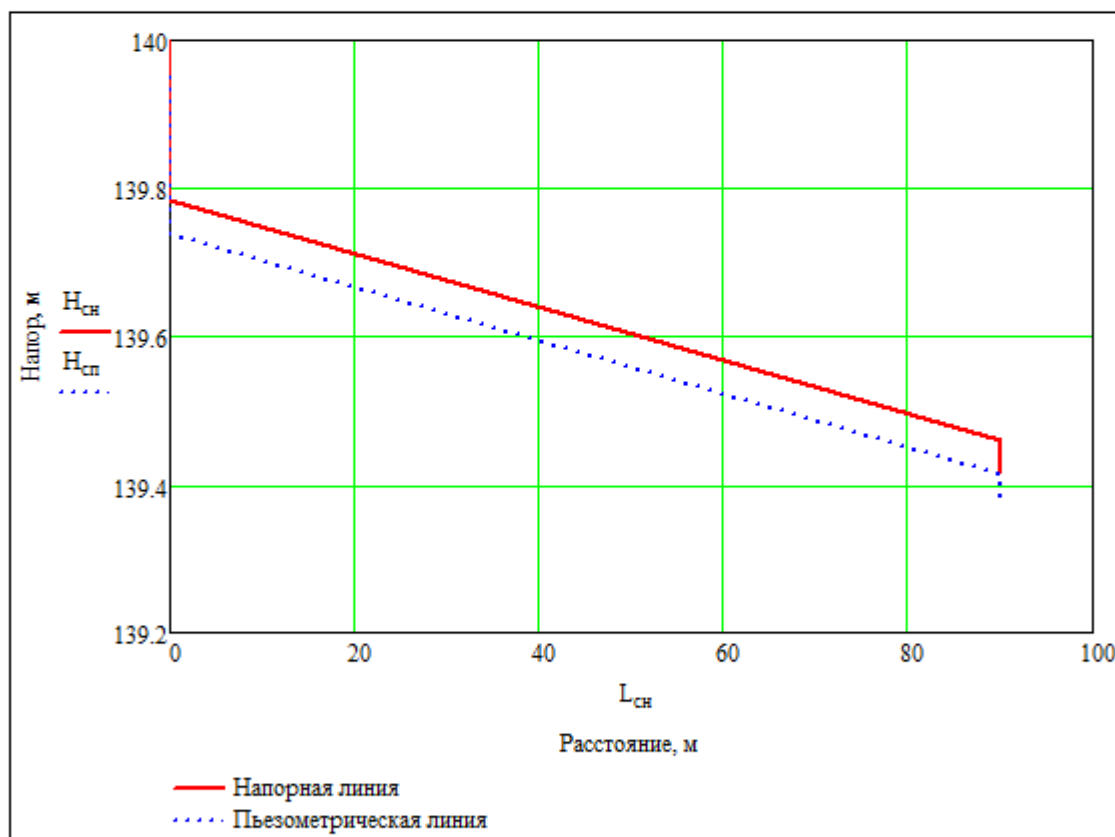


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле самотечной линии 1-2

3. Определение диаметра всасывающей линии 3-4

3.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды во всасывающей линии

$$V_{вс.ср} = \frac{(V_3 + V_4)}{2} \quad V_{вс.ср} = 0.8 \quad \text{м/с}$$

Рисунок 6.11 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

3.2. Диаметр всасывающей трубы

$$d_{вс} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вс.ср}}} \quad d_{вс} = 252.437 \quad \text{мм}$$

3.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вс.р} = 279$ мм

3.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вс.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вс.р}^2} \quad V_{вс.р} = 0.653 \quad \text{м/с}$$

4. Определение отметки оси насоса

4.1. Значение удельного сопротивления для труб

$$A_{вс} = A_{ус}(T, d_{вс.р}, V_{вс.р}) \quad A_{вс} = 0.976$$

4.2. Потери напора по длине трубопровода

$$h_{l.вс} = 10^{-6} \cdot A_{вс} \cdot L_{вс} \cdot Q_H^2 \quad h_{l.вс} = 0.047 \quad \text{м}$$

4.3. Местные потери напора во всасывающей линии

$$h_{м.вс} = \frac{V_{вс.р}^2 \cdot (\zeta_{кл} + N_{кол} \cdot \zeta_{кол})}{2 \cdot g} \quad h_{м.вс} = 0.239 \quad \text{м}$$

4.4. Суммарные потери напора

$$h_{w.вс} = h_{l.вс} + h_{м.вс} \quad h_{w.вс} = 0.285 \quad \text{м}$$

4.5. Отметка оси насоса

$$Z_4 = Z_2 + H_{взк} - h_{w.вс} - \frac{(\alpha \cdot V_{вс.р}^2)}{2 \cdot g} \quad Z_4 = 145.107 \quad \text{м}$$

5. Определение диаметра водовода 5-6

5.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды в водоводе

$$V_{вод.ср} = \frac{(V_5 + V_6)}{2} \quad V_{вод.ср} = 0.75 \quad \text{м/с}$$

5.2. Диаметр трубы водовода

$$d_{вод} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вод.ср}}} \quad d_{вод} = 260.716 \quad \text{мм}$$

5.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вод.р} = 279$ мм

5.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вод.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вод.р}^2} \quad V_{вод.р} = 0.653 \quad \text{м/с}$$

Рисунок 6.12 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

6. Определение напора, развиваемого насосом

6.1. Отметка уровня воды в резервуаре

$$Z_{рез} = Z_7 + H_6 + H_{рез} \quad Z_{рез} = 184 \quad \text{м}$$

6.2. Геодезическая высота подъема воды

$$H_r = Z_{рез} - Z_2 \quad H_r = 44.583 \quad \text{м}$$

6.3. Значение удельного сопротивления для труб

$$A_{вод} = A_{ус}(T, d_{вод.р}, V_{вод.р}) \quad A_{вод} = 0.976$$

6.4. Определение потерь напора в водоводе

$$h_{w.вод} = 1.1 \cdot 10^{-6} \cdot A_{вод} \cdot L_{вод} \cdot Q_n^2 \quad h_{w.вод} = 1.717 \quad \text{м}$$

6.5. Напор, развиваемый насосом

$$H_n = H_r + h_{w.вс} + h_{w.вод} \quad H_n = 46.586 \quad \text{м}$$

7. Мощность на валу насоса

$$N_3 = \frac{(\gamma \cdot Q_n \cdot H_n)}{102 \cdot \eta} \quad N_3 = 30.448 \quad \text{кВт}$$

8. Определение диаметров труб разводящей сети

8.1. Напор пьезометрический в начале магистрали

$$Z_6 = Z_7$$

$$H_{п.нач} = Z_6 + H_6 \quad H_{п.нач} = 180 \quad \text{м}$$

8.2. Средний гидравлический уклон для возможных направлений движения воды до точек водопотребления

$$\text{Участок 7-8-9-12} \quad i_{ср7_12} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{12} + H_{св.min.12})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_12}} \quad i_{ср7_12} = 0.0116667$$

$$\text{Участок 7-8-9-13} \quad i_{ср7_13} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{13} + H_{св.min.13})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_13}} \quad i_{ср7_13} = 0.0117647$$

8.3. По наименьшему среднему гидравлическому уклону

$$i_{ср.min} = \text{if}(i_{ср7_12} < i_{ср7_13}, i_{ср7_12}, i_{ср7_13}) \quad i_{ср.min} = 0.0116667$$

находим магистральное направление

Если

Магистральным будет направление 7-8-9-12

8.4. Расчет магистрального направления

8.4.1. Расходы воды на участках магистрального направления

$$Q_{7_8} = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{7_8} = 68 \quad \text{л/с}$$

Рисунок 6.13 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

$$Q_{8,9} = Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{8,9} = 29 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{9,12} = Q_{12} \quad Q_{9,12} = 15 \quad \text{л/с}$$

8.4.2. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}7,8} = \frac{i_{\text{ср}7,12}}{Q_{7,8}^2} \quad A_{\text{ср}7,8} = 0.0000025231$$

$$A_{\text{ср}8,9} = \frac{i_{\text{ср}7,12}}{Q_{8,9}^2} \quad A_{\text{ср}8,9} = 0.0000138724$$

$$A_{\text{ср}9,12} = \frac{i_{\text{ср}7,12}}{Q_{9,12}^2} \quad A_{\text{ср}9,12} = 0.0000518519$$

8.4.3. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

$$d_{\text{тр}}(t, A_{\text{ср}}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{7,8} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}7,8}) \quad d_{7,8} = 0.229 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{7,8,п} = 235$ мм

$$d_{8,9} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}8,9}) \quad d_{8,9} = 0.165 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8,9,п} = 189$ мм

$$d_{9,12} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}9,12}) \quad d_{9,12} = 0.128 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9,12,п} = 141$ мм

Рисунок 6.14 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Скорость течения воды составит

$$V_{7,8,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{7,8})}{d_{7,8,p}^2} \quad V_{7,8,p} = 1.564 \quad \text{м/с}$$

$$V_{8,9,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8,9})}{d_{8,9,p}^2} \quad V_{8,9,p} = 1.031 \quad \text{м/с}$$

$$V_{9,12,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{9,12})}{d_{9,12,p}^2} \quad V_{9,12,p} = 0.958 \quad \text{м/с}$$

8.4.4. Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{7,8} = A_{\text{yc}}(T, d_{7,8,p}, V_{7,8,p}) \quad A_{7,8} = 2.091$$

$$A_{8,9} = A_{\text{yc}}(T, d_{8,9,p}, V_{8,9,p}) \quad A_{8,9} = 6.863$$

$$A_{9,12} = A_{\text{yc}}(T, d_{9,12,p}, V_{9,12,p}) \quad A_{9,12} = 31.743$$

8.4.5. Потери напора на участках магистрального направления

$$h_{w,7,8} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{7,8} \cdot L_{7,8} \cdot Q_{7,8}^2 \quad h_{w,7,8} = 5.317 \quad \text{м}$$

$$h_{w,8,9} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8,9} \cdot L_{8,9} \cdot Q_{8,9}^2 \quad h_{w,8,9} = 3.81 \quad \text{м}$$

$$h_{w,9,12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9,12} \cdot L_{9,12} \cdot Q_{9,12}^2 \quad h_{w,9,12} = 5.499 \quad \text{м}$$

8.4.6. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,\text{сум}} = h_{w,7,8} + h_{w,8,9} + h_{w,9,12} \quad h_{w,\text{сум}} = 14.626 \quad \text{м}$$

Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона для участка 7-8-9-12 (см. п.8.2.)

$$h_{w,\text{сум}} = 14.626 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_{12} + H_{\text{св. min.12}}) = 21$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка и произвести пересчет.

8.4.7. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п.8}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} \quad H_{\text{п.8}} = 174.683 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.9}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} - h_{w,8,9} \quad H_{\text{п.9}} = 170.873 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.12}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} - h_{w,8,9} - h_{w,9,12} \quad H_{\text{п.12}} = 165.374 \quad \text{м}$$

8.4.8. Свободный напор в точке водопотребления на магистрали

$$H_{\text{св.12}} = H_{\text{п.12}} - Z_{12} \quad H_{\text{св.12}} = 14.374 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св. min.12}} = 8 \quad \text{м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб на одном (нескольких) участках магистрали и произвести перерасчет.

Рисунок 6.15 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

8.5. Расчет ответвлений от магистрали

Участок 8-10

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}8_10} = \frac{[H_{\text{п.8}} - (Z_{10} + H_{\text{св.мин.10}})]}{L_{8_10}} \quad i_{\text{ср}8_10} = 0.0146033$$

Расход воды на участке

$$Q_{8_10} = Q_{10} \quad Q_{8_10} = 20 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}8_10} = \frac{i_{\text{ср}8_10}}{Q_{8_10}^2} \quad A_{\text{ср}8_10} = 0.0000365081$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_10} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}8_10}) \quad d_{8_10} = 0.137 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_10.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_10.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_10})}{d_{8_10.p}^2} \quad V_{8_10.p} = 1.278 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_10} = A_{\text{уч}}(T, d_{8_10.p}, V_{8_10.p}) \quad A_{8_10} = 30.451$$

Потери напора на участке

$$h_{\text{в.8_10}} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_10} \cdot L_{8_10} \cdot Q_{8_10}^2 \quad h_{\text{в.8_10}} = 10.719 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{\text{п.10}} = H_{\text{п.нач}} - h_{\text{в.7_8}} - h_{\text{в.8_10}} \quad H_{\text{п.10}} = 163.964 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{\text{св.10}} = H_{\text{п.10}} - Z_{10} \quad H_{\text{св.10}} = 8.964 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.мин.10}} = 8$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

Участок 8-11

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}8_11} = \frac{[H_{\text{п.8}} - (Z_{11} + H_{\text{св.мин.11}})]}{L_{8_11}} \quad i_{\text{ср}8_11} = 0.0252609$$

Рисунок 6.16 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Расход воды на участке

$$Q_{8_11} = Q_{11} \quad Q_{8_11} = 19 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}8_11} = \frac{i_{\text{ср}8_11}}{Q_{8_11}^2} \quad A_{\text{ср}8_11} = 0.0000699747$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_11} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}8_11}) \quad d_{8_11} = 0.121 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_11.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_11.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_11})}{d_{8_11.p}^2} \quad V_{8_11.p} = 1.214 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_11} = A_{\text{уч}}(T, d_{8_11.p}, V_{8_11.p}) \quad A_{8_11} = 30.671$$

Потери напора на участке

$$h_{w.8_11} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_11} \cdot L_{8_11} \cdot Q_{8_11}^2 \quad h_{w.8_11} = 8.526 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.11} = H_{п.нач} - h_{w.7_8} - h_{w.8_11} \quad H_{п.11} = 166.157 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{\text{св.}11} = H_{п.11} - Z_{11} \quad H_{\text{св.}11} = 14.157 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.}min.11} = 5$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

Участок 9-13

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}9_13} = \frac{[H_{п.9} - (Z_{13} + H_{\text{св.}min.13})]}{L_{9_13}} \quad i_{\text{ср}9_13} = 0.0181216$$

Расход воды на участке

$$Q_{9_13} = Q_{13} \quad Q_{9_13} = 14 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}9_13} = \frac{i_{\text{ср}9_13}}{Q_{9_13}^2} \quad A_{\text{ср}9_13} = 0.0000924574$$

Рисунок 6.17 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{9_13} = d_{\text{тр}}(\Gamma, A_{\text{ср}9_13}) \quad d_{9_13} = 0.115 \quad \text{м}$$

Используя **табл.1** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9_13.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{9_13.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{9_13})}{d_{9_13.p}^2} \quad V_{9_13.p} = 0.894 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{9_13} = A_{\text{уд}}(\Gamma, d_{9_13.p}, V_{9_13.p}) \quad A_{9_13} = 32.074$$

Потери напора на участке

$$h_{w.9_13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9_13} \cdot L_{9_13} \cdot Q_{9_13}^2 \quad h_{w.9_13} = 4.149 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.13} = H_{п.нач} - h_{w.7_8} - h_{w.8_9} - h_{w.9_13} \quad H_{п.13} = 166.724 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{св.13} = H_{п.13} - Z_{13} \quad H_{св.13} = 16.724 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min.13} = 10$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

8.6. Построение пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления

7-8-9-12 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{7_8} \\ L_{7_8} + L_{8_9} \\ L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_12} \end{pmatrix} \quad H_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.8} \\ H_{п.9} \\ H_{п.12} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 1.1 \times 10^3 \\ 1.8 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 180 \\ 174.683 \\ 170.873 \\ 165.374 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.18 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Строим график

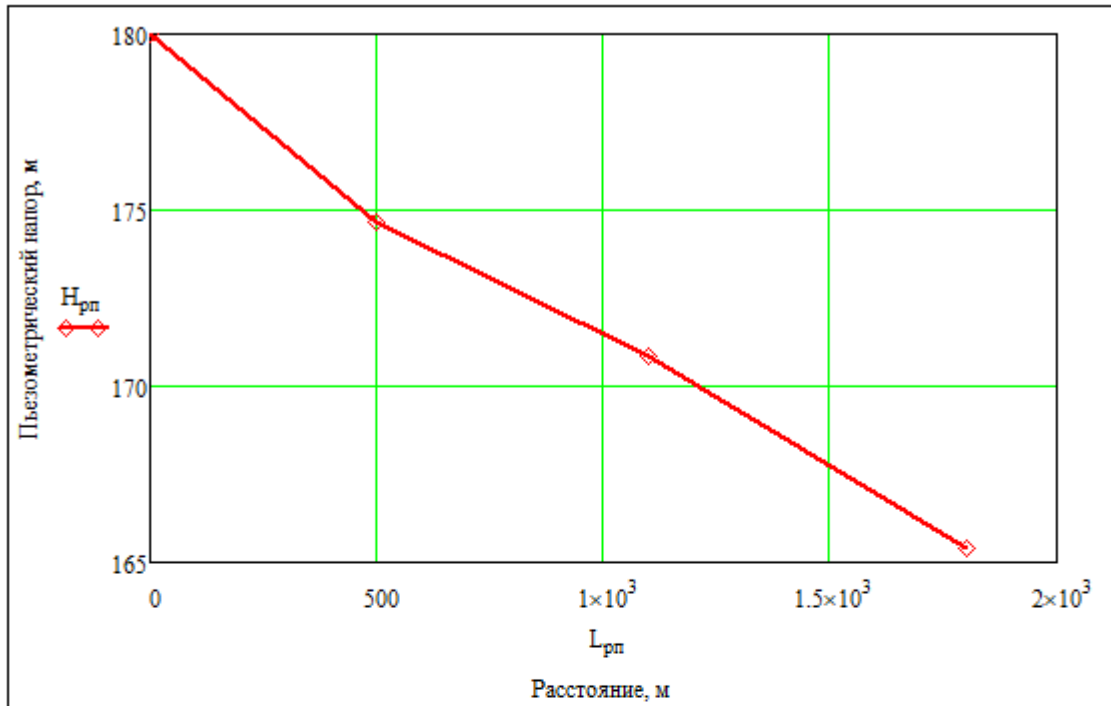


Рис.2. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 7-8-9-12

Если

Магистральным будет направление 7-8-9-13

8.4. Расчет магистрального направления

8.4.1. Расходы воды на участках магистрального направления

$$Q_{7,8} = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{7,8} = 68 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{8,9} = Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{8,9} = 29 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{9,13} = Q_{13} \quad Q_{9,13} = 14 \quad \text{л/с}$$

8.4.2. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{ср7,8} = \frac{i_{ср7,13}}{Q_{7,8}^2} \quad A_{ср7,8} = 0.0000025443$$

$$A_{ср8,9} = \frac{i_{ср7,13}}{Q_{8,9}^2} \quad A_{ср8,9} = 0.0000139889$$

$$A_{ср9,13} = \frac{i_{ср7,13}}{Q_{9,13}^2} \quad A_{ср9,13} = 0.000060024$$

Рисунок 6.19 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

8.4.3. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

$$d_{\text{тр}}(t, A_{\text{ср}}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{7,8} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}7,8}) \quad d_{7,8} = 0.229 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{7,8,п} = 235 \text{ мм}$

$$d_{8,9} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}8,9}) \quad d_{8,9} = 0.165 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8,9,п} = 189 \text{ мм}$

$$d_{9,13} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}9,13}) \quad d_{9,13} = 0.125 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9,13,п} = 141 \text{ мм}$

Скорость течения воды составит

$$V_{7,8,п} = \frac{(1270 \cdot Q_{7,8})}{d_{7,8,п}^2} \quad V_{7,8,п} = 1.564 \text{ м/с}$$

$$V_{8,9,п} = \frac{(1270 \cdot Q_{8,9})}{d_{8,9,п}^2} \quad V_{8,9,п} = 1.031 \text{ м/с}$$

$$V_{9,13,п} = \frac{(1270 \cdot Q_{9,13})}{d_{9,13,п}^2} \quad V_{9,13,п} = 0.894 \text{ м/с}$$

8.4.4. Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{7,8} = A_{\text{ус}}(T, d_{7,8,п}, V_{7,8,п}) \quad A_{7,8} = 2.091$$

$$A_{8,9} = A_{\text{ус}}(T, d_{8,9,п}, V_{8,9,п}) \quad A_{8,9} = 6.863$$

Рисунок 6.20 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

$$A_{9_13} = A_{\text{ус}}(T, d_{9_13,p}, V_{9_13,p}) \quad A_{9_13} = 32.074$$

8.4.5. Потери напора на участках магистрального направления

$$h_{w,7_8} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{7_8} \cdot L_{7_8} \cdot Q_{7_8}^2 \quad h_{w,7_8} = 5.317 \text{ м}$$

$$h_{w,8_9} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_9} \cdot L_{8_9} \cdot Q_{8_9}^2 \quad h_{w,8_9} = 3.81 \text{ м}$$

$$h_{w,9_13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9_13} \cdot L_{9_13} \cdot Q_{9_13}^2 \quad h_{w,9_13} = 4.149 \text{ м}$$

8.4.6. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,\text{сум}} = h_{w,7_8} + h_{w,8_9} + h_{w,9_13} \quad h_{w,\text{сум}} = 13.276 \text{ м}$$

Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона для участка 7-8-9-13 (см. п.8.2.)

$$h_{w,\text{сум}} = 13.276 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_{13} + H_{\text{св.min.13}}) = 20$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка и произвести пересчет.

8.4.7. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п.8}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7_8} \quad H_{\text{п.8}} = 174.683 \text{ м}$$

$$H_{\text{п.9}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7_8} - h_{w,8_9} \quad H_{\text{п.9}} = 170.873 \text{ м}$$

$$H_{\text{п.13}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7_8} - h_{w,8_9} - h_{w,9_13} \quad H_{\text{п.13}} = 166.724 \text{ м}$$

8.4.8. Свободный напор в точке водопотребления на магистрали

$$H_{\text{св.13}} = H_{\text{п.13}} - Z_{13} \quad H_{\text{св.13}} = 16.724 \text{ м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.min.13}} = 10 \text{ м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб на одном (нескольких) участках магистрали и произвести перерасчет.

8.5. Расчет ответвлений от магистрали

Участок 8-10

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср8_10}} = \frac{H_{\text{п.8}} - (Z_{10} + H_{\text{св.min.10}})}{L_{8_10}} \quad i_{\text{ср8_10}} = 0.0146033$$

Расход воды на участке

$$Q_{8_10} = Q_{10} \quad Q_{8_10} = 20 \text{ л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср8_10}} = \frac{i_{\text{ср8_10}}}{Q_{8_10}^2} \quad A_{\text{ср8_10}} = 0.0000365081$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_10} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср8_10}}) \quad d_{8_10} = 0.137 \text{ м}$$

Рисунок 6.21 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_10.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_10.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_10})}{d_{8_10.p}^2} \quad V_{8_10.p} = 1.278 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_10} = A_{\text{уч}}(T, d_{8_10.p}, V_{8_10.p}) \quad A_{8_10} = 30.451$$

Потери напора на участке

$$h_{w.8_10} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_10} \cdot L_{8_10} \cdot Q_{8_10}^2 \quad h_{w.8_10} = 10.719 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.10} = H_{п.нач} - h_{w.7_8} - h_{w.8_10} \quad H_{п.10} = 163.964 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{св.10} = H_{п.10} - Z_{10} \quad H_{св.10} = 8.964 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min.10} = 8$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

Участок 8-11

Средний гидравлический уклон

$$i_{ср8_11} = \frac{[H_{п.8} - (Z_{11} + H_{св.min.11})]}{L_{8_11}} \quad i_{ср8_11} = 0.0252609$$

Расход воды на участке

$$Q_{8_11} = Q_{11} \quad Q_{8_11} = 19 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{ср8_11} = \frac{i_{ср8_11}}{Q_{8_11}^2} \quad A_{ср8_11} = 0.0000699747$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_11} = d_{\text{тр}}(T, A_{ср8_11}) \quad d_{8_11} = 0.121 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_11.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_11.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_11})}{d_{8_11.p}^2} \quad V_{8_11.p} = 1.214 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_11} = A_{\text{уч}}(T, d_{8_11.p}, V_{8_11.p}) \quad A_{8_11} = 30.671$$

Рисунок 6.22 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Потери напора на участке

$$h_{w.8.11} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8.11} \cdot L_{8.11} \cdot Q_{8.11}^2 \quad h_{w.8.11} = 8.526 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.11} = H_{п.нач} - h_{w.7.8} - h_{w.8.11} \quad H_{п.11} = 166.157 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{св.11} = H_{п.11} - Z_{11} \quad H_{св.11} = 14.157 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min.11} = 5 \quad \text{м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

Участок 9-12

Средний гидравлический уклон

$$i_{ср9.12} = \frac{[H_{п.9} - (Z_{12} + H_{св.min.12})]}{L_{9.12}} \quad i_{ср9.12} = 0.0169614$$

Расход воды на участке

$$Q_{9.12} = Q_{12} \quad Q_{9.12} = 15 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{ср9.12} = \frac{i_{ср9.12}}{Q_{9.12}^2} \quad A_{ср9.12} = 0.000075384$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{9.12} = d_{тр}(T, A_{ср9.12}) \quad d_{9.12} = 0.119 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9.12.p} = 141 \quad \text{мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{9.12.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{9.12})}{d_{9.12.p}^2} \quad V_{9.12.p} = 0.958 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{9.12} = A_{ус}(T, d_{9.12.p}, V_{9.12.p}) \quad A_{9.12} = 31.743$$

Потери напора на участке

$$h_{w.9.12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9.12} \cdot L_{9.12} \cdot Q_{9.12}^2 \quad h_{w.9.12} = 5.499 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.12} = H_{п.нач} - h_{w.7.8} - h_{w.8.9} - h_{w.9.12} \quad H_{п.12} = 165.374 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.23 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (продолжение)

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{св.12} = H_{п.12} - Z_{12} \quad H_{св.12} = 14.374 \text{ м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min.12} = 8 \text{ м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить диаметр трубы и произвести перерасчет.

8.6. Построение пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления 7-8-9-13 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{7_8} \\ L_{7_8} + L_{8_9} \\ L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_{13}} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.8} \\ H_{п.9} \\ H_{п.13} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 1.1 \times 10^3 \\ 1.7 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} 180 \\ 174.683 \\ 170.873 \\ 166.724 \end{pmatrix}$$

Строим график

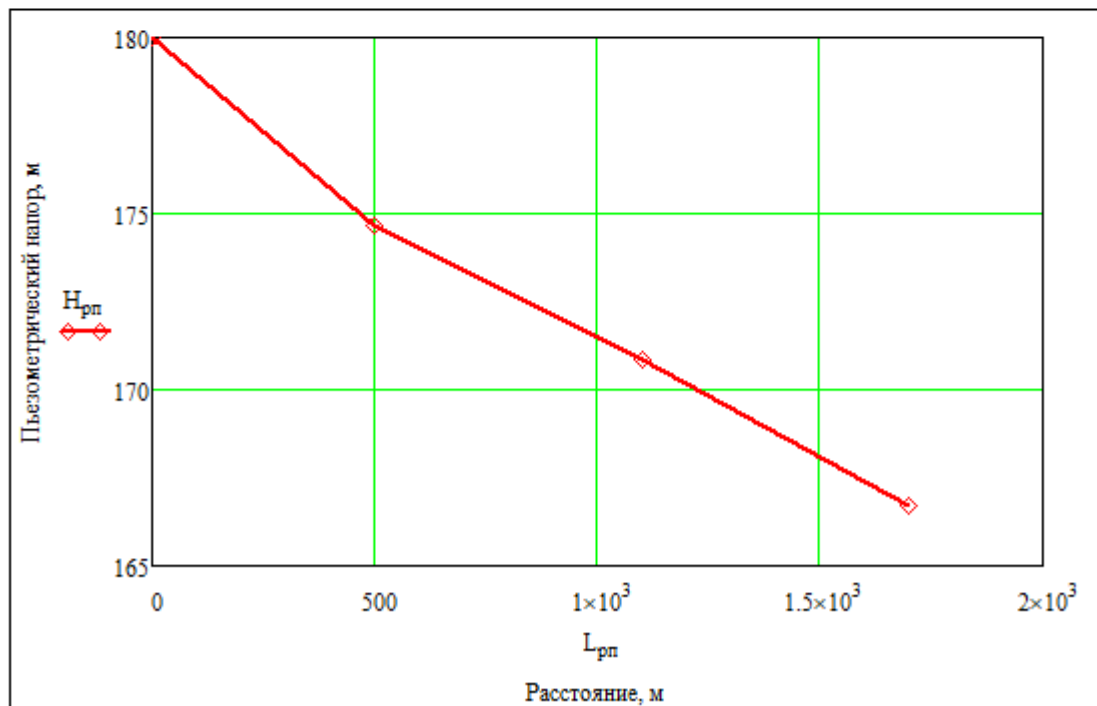


Рис.2. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 7-8-9-13

Рисунок 6.24 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_А (окончание)

Исходные данные варианта Б

Значение $N = 40$

Водоприемный ковш

Отметка поверхности воды $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Дюкер 1-2-3-4-5-6

Длина дюкера $L_{\text{дюк}} = 200 + 2 \cdot N$ $L_{\text{дюк}} = 280$ м

Отметки оси трубы дюкера $Z_1 = Z_0 - 3$ $Z_1 = 137$ м $Z_2 = Z_1$ $Z_2 = 137$ м

$Z_3 = Z_0 - 10$ $Z_3 = 130$ м $Z_4 = Z_3$ $Z_4 = 130$ м

Скорость движения воды в дюкере: от $V_1 = 1.2$ м/с

до $V_2 = 1.5$ м/с

Коэффициенты местных сопротивлений: вход $\zeta_{\text{вх}} = 5$

поворот $\zeta_{\text{п}} = 0.2$

выход $\zeta_{\text{вых}} = 1$

Всасывающая линия 7-8

Длина трубопровода всасывающей линии $L_{\text{вс}} = 10 + 0.5 \cdot N$ $L_{\text{вс}} = 30$ м

Скорость движения воды: от $V_3 = 0.8$ м/с

до $V_4 = 1.2$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{\text{вак}} = 7$ м водяного столба

Коэффициенты местных сопротивлений: приемный клапан $\zeta_{\text{кл}} = 10$

колесо $\zeta_{\text{кол}} = 0.33$

Число колес всасывающей линии $N_{\text{кол}} = 3$

Насос

Коэффициент полезного действия $\eta_1 = 0.7$

Расход воды, подаваемой насосом $Q_{\text{н}} = 40 + 0.4 \cdot N$ $Q_{\text{н}} = 56$ л/с

Водовод 9-10-11-12-13-14

Длина одной нитки водовода $L_{\text{вод}} = 5000$ м

Диаметр труб водовода $d_{\text{вод}} = 200$ мм

Водонапорная башня Г

Отметки поверхности земли: $Z_{14} = 120 + 1.5 \cdot N$ $Z_{14} = 180$ м

$Z_{15} = Z_{14}$ $Z_{15} = 180$ м

Рисунок 6.25 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (начало)

Высота ствола башни $H_6 = 12$ м

Высота резервуара $H_{рез} = 3$ м

Разводящая сеть

Протяженность участков разводящей сети

$$L_{15_16} = 1000 + 12 \cdot N \quad L_{15_16} = 1480 \text{ м}$$

$$L_{16_17} = 500 \text{ м}$$

$$L_{17_18} = 100 + 5 \cdot N \quad L_{17_18} = 300 \text{ м}$$

$$L_{16_19} = 200 \text{ м}$$

Отметки земли в точках водопотребления 16,17,18,19 одинаковы и равны

$$Z_{16} = 112 + 1.4 \cdot N \quad Z_{16} = 168 \text{ м}$$

$$Z_{17} = Z_{16} \quad Z_{17} = 168 \text{ м}$$

$$Z_{18} = Z_{16} \quad Z_{18} = 168 \text{ м}$$

$$Z_{19} = Z_{16} \quad Z_{19} = 168 \text{ м}$$

Минимальная величина свободного напора в каждой точке водопотребления $H_{св.min} = 7$ м

Коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.0$

Ускорение свободного падения $g = 9.81$

Удельный вес воды $\gamma = 1.0$ кг/дм³

Тип труб (1-новые стальные и чугунные, 2-новые стальные, 3-новые чугунные, 4-асбестоцементные) $\Gamma = 4$

Расчетная часть

1. Определение диаметра дюкера

1.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды в дюкере

$$V_{\text{дюк.ср}} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad V_{\text{дюк.ср}} = 1.35 \text{ м/с}$$

1.2. Диаметр трубы

$$d_{\text{дюк}} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{\text{дюк.ср}}}} \quad d_{\text{дюк}} = 229.93 \text{ мм}$$

1.3. Используя табл., округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{\text{дюк.р}} = 235$ мм

1.4. При расчетном диаметре трубы средняя скорость течения воды в дюкере составит

$$V_{\text{дюк.р}} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{\text{дюк.р}}^2} \quad V_{\text{дюк.р}} = 1.288 \text{ м/с}$$

Рисунок 6.26 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

2. Определение отметки уровня воды в колодце Z_7 и отметок дюкера

2.1. Значение удельного сопротивления для трубопровода (дюкера)

$$A_{\text{дюз}}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 & \end{array} \right. \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$A_{\text{дюз}} = A_{\text{дюз}}(T, d_{\text{дюз.р}}, V_{\text{дюз.р}}) \quad A_{\text{дюз}} = 2.146$$

2.2. Потери напора по длине дюкера

$$h_{1,\text{дюз}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{дюз}} \cdot L_{\text{дюз}} \cdot Q_{\text{н}}^2 \quad h_{1,\text{дюз}} = 1.885 \text{ м}$$

2.3. Местные потери напора в дюкере

$$h_{\text{м.дюз}} = \frac{V_{\text{дюз.р}}^2 \cdot (\zeta_{\text{вх}} + 4 \cdot \zeta_{\text{п}} + \zeta_{\text{вых}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м.дюз}} = 0.575 \text{ м}$$

2.4. Суммарные потери напора в дюкере

$$h_{\text{в.дюз}} = h_{1,\text{дюз}} + h_{\text{м.дюз}} \quad h_{\text{в.дюз}} = 2.46 \text{ м}$$

2.5. Отметка уровня воды в сборном колодце

$$Z_7 = Z_0 - h_{\text{в.дюз}} \quad Z_7 = 137.54 \text{ м}$$

2.6. Отметка оси трубы дюкера в точках 5 и 6

$$Z_5 = Z_7 - 1 \quad Z_5 = 136.54 \text{ м} \quad Z_6 = Z_5 \quad Z_6 = 136.54 \text{ м}$$

2.7. Построение пьезометрической и напорной линий на продольном профиле дюкера

Вначале определим абсциссы и ординаты напорной линии

$$L_{\text{дн}_0} = 0 \quad H_{\text{дн}_0} = Z_0$$

$$L_{\text{дн}_1} = L_{\text{дн}_0} \quad H_{\text{дн}_1} = H_{\text{дн}_0} - \frac{V_{\text{дюз.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{вх}}}{2 \cdot g}$$

$$L_{\text{дн}_2} = L_{\text{дн}_1} + \frac{L_{\text{дюз}}}{5} \quad H_{\text{дн}_2} = H_{\text{дн}_1} - \left(10^{-6} \cdot A_{\text{дюз}} \cdot \frac{L_{\text{дюз}}}{5} \cdot Q_{\text{н}}^2\right)$$

Рисунок 6.27 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

$$L_{дн3} = L_{дн2} \qquad H_{дн3} = H_{дн2} - \frac{V_{дюз.р}^2 \cdot \zeta_{п}}{2 \cdot g}$$

$$L_{дн4} = L_{дн3} + \frac{L_{дюз}}{5} \qquad H_{дн4} = H_{дн3} - \left(10^{-6} \cdot A_{дюз} \cdot \frac{L_{дюз}}{5} \cdot Q_n^2 \right)$$

$$L_{дн5} = L_{дн4} \qquad H_{дн5} = H_{дн4} - \frac{V_{дюз.р}^2 \cdot \zeta_{п}}{2 \cdot g}$$

$$L_{дн6} = L_{дн5} + \frac{L_{дюз}}{5} \qquad H_{дн6} = H_{дн5} - \left(10^{-6} \cdot A_{дюз} \cdot \frac{L_{дюз}}{5} \cdot Q_n^2 \right)$$

$$L_{дн7} = L_{дн6} \qquad H_{дн7} = H_{дн6} - \frac{V_{дюз.р}^2 \cdot \zeta_{п}}{2 \cdot g}$$

$$L_{дн8} = L_{дн7} + \frac{L_{дюз}}{5} \qquad H_{дн8} = H_{дн7} - \left(10^{-6} \cdot A_{дюз} \cdot \frac{L_{дюз}}{5} \cdot Q_n^2 \right)$$

$$L_{дн9} = L_{дн8} \qquad H_{дн9} = H_{дн8} - \frac{V_{дюз.р}^2 \cdot \zeta_{п}}{2 \cdot g}$$

$$L_{дн10} = L_{дн9} + \frac{L_{дюз}}{5} \qquad H_{дн10} = H_{дн9} - \left(10^{-6} \cdot A_{дюз} \cdot \frac{L_{дюз}}{5} \cdot Q_n^2 \right)$$

$$L_{дн11} = L_{дн10} \qquad H_{дн11} = H_{дн10} - \frac{V_{дюз.р}^2 \cdot \zeta_{вых}}{2 \cdot g}$$

Определим ординаты пьезометрической линии

$$H_{дп} = H_{дн} - \frac{\alpha V_{дюз.р}^2}{2 \cdot g}$$

Получим численные значения

	0
0	0
1	0
2	56
3	56
4	112
5	112
6	168
7	168
8	224
9	224
10	280
11	280

	0
0	140
1	139.577
2	139.2
3	139.183
4	138.807
5	138.79
6	138.413
7	138.396
8	138.019
9	138.002
10	137.625
11	137.54

	0
0	139.915
1	139.493
2	139.116
3	139.099
4	138.722
5	138.705
6	138.328
7	138.311
8	137.934
9	137.917
10	137.54
11	137.456

Рисунок 6.28 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

Строим график

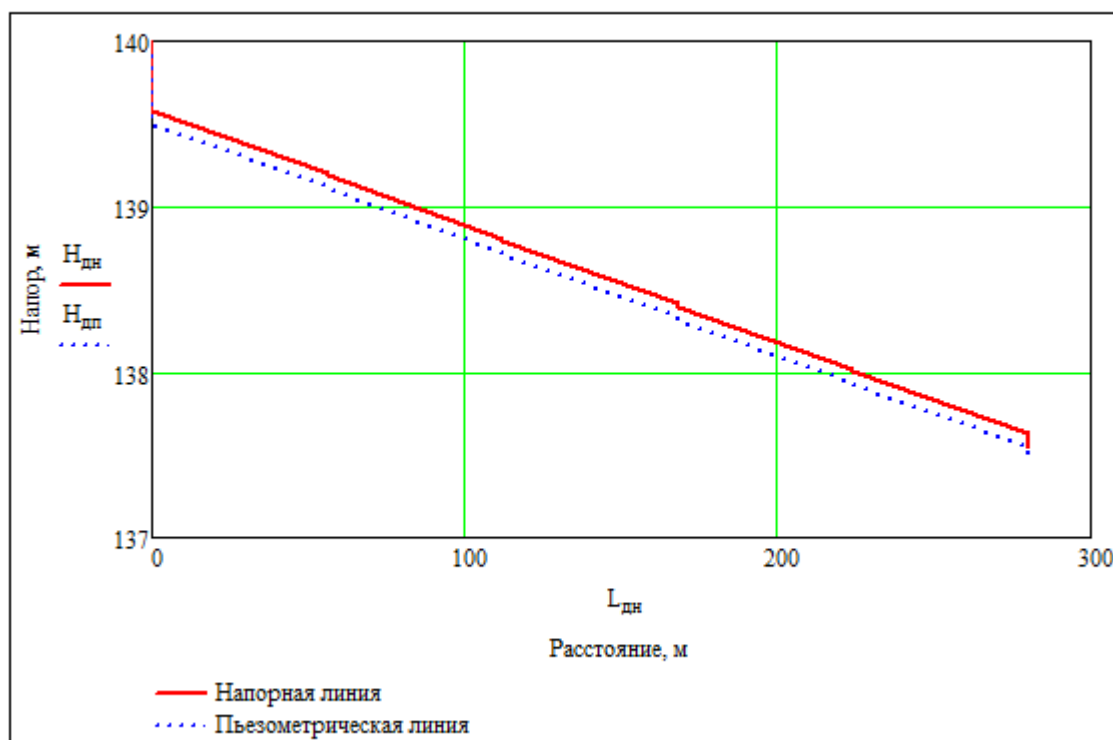


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле дюкера

3. Определение диаметра всасывающей линии

3.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды во всасывающей линии

$$V_{вс.ср} = \frac{(V_3 + V_4)}{2} \quad V_{вс.ср} = 1 \quad \text{м/с}$$

3.2. Диаметр всасывающей трубы

$$d_{вс} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вс.ср}}} \quad d_{вс} = 267.154 \quad \text{мм}$$

3.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вс.р} = 279 \quad \text{мм}$

3.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вс.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вс.р}^2} \quad V_{вс.р} = 0.914 \quad \text{м/с}$$

4. Определение отметки оси насоса

4.1. Значение удельного сопротивления для всасывающей трубы

$$A_{вс} = A_{ус}(T, d_{вс.р}, V_{вс.р}) \quad A_{вс} = 0.926$$

Рисунок 6.29 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

4.2. Потери напора по длине всасывающей линии

$$h_{1,вс} = 10^{-6} \cdot A_{вс} \cdot L_{вс} \cdot Q_H^2 \quad h_{1,вс} = 0.087 \quad \text{м}$$

4.3. Местные потери напора во всасывающей линии

$$h_{м,вс} = \frac{V_{вс,р}^2 \cdot (\zeta_{кл} + N_{кол} \cdot \zeta_{кол})}{2 \cdot g} \quad h_{м,вс} = 0.468 \quad \text{м}$$

4.4. Суммарные потери напора во всасывающей линии

$$h_{ч,вс} = h_{1,вс} + h_{м,вс} \quad h_{ч,вс} = 0.555 \quad \text{м}$$

4.5. Отметка оси насоса

$$Z_8 = Z_7 + H_{бак} - h_{ч,вс} - \frac{(\alpha \cdot V_{вс,р}^2)}{2 \cdot g} \quad Z_8 = 143.943 \quad \text{м}$$

5. Определение напора, развиваемого насосом

5.1. Отметка уровня воды в резервуаре водонапорной башни

$$Z_{рез} = Z_{14} + H_6 + H_{рез} \quad Z_{рез} = 195 \quad \text{м}$$

5.2. Геодезическая высота подъема воды

$$H_T = Z_{рез} - Z_7 \quad H_T = 57.46 \quad \text{м}$$

5.3. При заданном значении $d_{вод} = 200$ мм (условный проход)

следует по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{вод,р} = 189$ мм

5.4. Для участков водовода, кроме участка 11-12

$$Q_1 = \frac{Q_H}{2} \quad Q_1 = 28 \quad \text{л/с}$$

$$V_{вод,р} = \frac{(1270 \cdot Q_1)}{d_{вод,р}^2} \quad V_{вод,р} = 0.995 \quad \text{м/с}$$

$$A_{вод,1} = A_{ус}(T, d_{вод,р}, V_{вод,р}) \quad A_{вод,1} = 6.899$$

5.5. Для участка водовода 11-12

$$Q_2 = Q_H \quad Q_2 = 56 \quad \text{л/с}$$

$$V_{вод,р} = \frac{(1270 \cdot Q_2)}{d_{вод,р}^2} \quad V_{вод,р} = 1.991 \quad \text{м/с}$$

$$A_{вод,2} = A_{ус}(T, d_{вод,р}, V_{вод,р}) \quad A_{вод,2} = 6.282$$

5.6. Определение потерь напора в водоводе

$$h_{ч,вод} = 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot \left(4 \cdot A_{вод,1} \cdot Q_1^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} + A_{вод,2} \cdot Q_2^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \right) \quad h_{ч,вод} = 45.468 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.30 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

5.7. Напор, развиваемый насосом

$$H_n = H_r + h_{w,вс} + h_{w,вод} \quad H_n = 103.482 \text{ м}$$

5.8. Построение пьезометрической линии на профиле водовода

Вначале определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$\begin{aligned} L_{вп_0} &= 0 & H_{вп_0} &= Z_7 + H_r + h_{w,вод} \\ L_{вп_1} &= 1000 & H_{вп_1} &= H_{вп_0} - 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{вод.1} \cdot Q_1^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \\ L_{вп_2} &= 2000 & H_{вп_2} &= H_{вп_1} - 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{вод.1} \cdot Q_1^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \\ L_{вп_3} &= 3000 & H_{вп_3} &= H_{вп_2} - 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{вод.2} \cdot Q_2^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \\ L_{вп_4} &= 4000 & H_{вп_4} &= H_{вп_3} - 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{вод.1} \cdot Q_1^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \\ L_{вп_5} &= 5000 & H_{вп_5} &= H_{вп_4} - 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{вод.1} \cdot Q_1^2 \cdot \frac{L_{вод}}{5} \end{aligned}$$

Получим численные значения координат

$$L_{вп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \times 10^3 \\ 2 \times 10^3 \\ 3 \times 10^3 \\ 4 \times 10^3 \\ 5 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{вп} = \begin{pmatrix} 240.468 \\ 234.518 \\ 228.568 \\ 206.899 \\ 200.95 \\ 195 \end{pmatrix}$$

Строим график

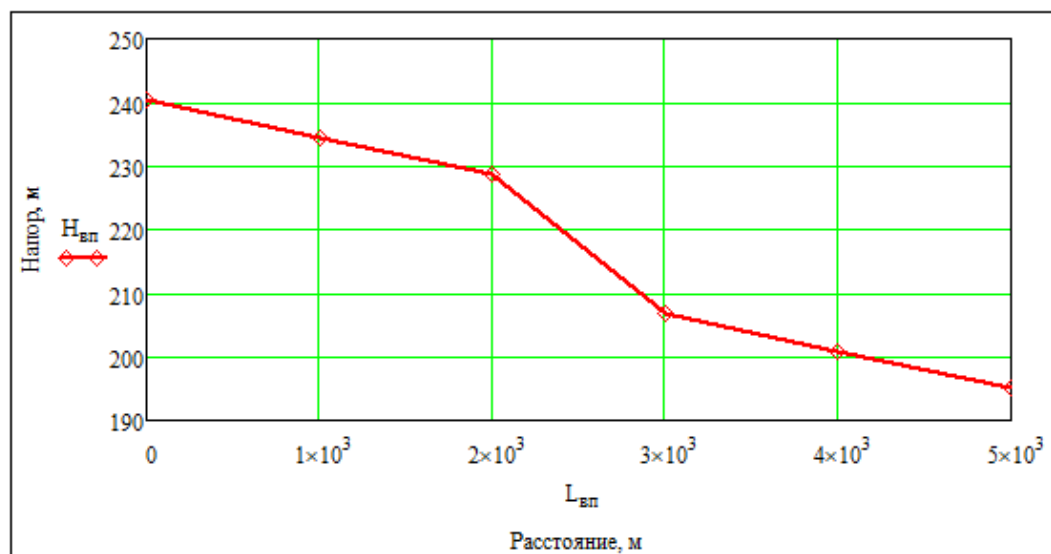


Рис. 2. Пьезометрическая линия на продольном профиле водовода

Рисунок 6.31 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

6. Мощность на валу насоса

$$N_3 = \frac{(\gamma \cdot Q_n \cdot H_n)}{102 \cdot \eta} \quad N_3 = 81.162 \text{ кВт}$$

7. Расчет разводящей сети

7.1. Расходы воды в точках водопотребления

$$Q_{16} = \frac{Q_n}{4} \quad Q_{17} = Q_{16} \quad Q_{18} = Q_{16} \quad Q_{19} = Q_{16} \quad Q_{16} = 14 \text{ л/с}$$

7.2. Расходы воды на участках сети

$$Q_{15_16} = Q_{16} + Q_{17} + Q_{18} + Q_{19} \quad Q_{15_16} = 56 \text{ л/с}$$

$$Q_{16_17} = Q_{17} + Q_{18} \quad Q_{16_17} = 28 \text{ л/с}$$

$$Q_{17_18} = Q_{18} \quad Q_{17_18} = 14 \text{ л/с}$$

$$Q_{16_19} = Q_{19} \quad Q_{16_19} = 14 \text{ л/с}$$

7.3. Пьезометрический напор в начале разводящей сети определяется при условии

$$Z_6 = Z_{14} = Z_{15}$$

$$Z_6 = Z_{14}$$

$$H_{п.нач} = Z_6 + H_6 \quad H_{п.нач} = 192 \text{ м}$$

7.4. Средний гидравлический уклон для направлений движения воды до наиболее удаленных точек водопотребления

$$Z_x = Z_{16} \quad Z_x = 168 \text{ м}$$

$$i_{ср15_18} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_x + H_{св.min})]}{L_{15_16} + L_{16_17} + L_{17_18}} \quad i_{ср15_18} = 0.0074561$$

$$i_{ср15_19} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_x + H_{св.min})]}{L_{15_16} + L_{16_19}} \quad i_{ср15_19} = 0.010119$$

7.5. По наименьшему среднему гидравлическому уклону

$$i_{ср.min} = \text{if}(i_{ср15_18} < i_{ср15_19}, i_{ср15_18}, i_{ср15_19}) \quad i_{ср.min} = 0.0074561$$

находим магистральное направление

Если

Магистральным будет направление 15-16-17-18

7.6. Расчет магистрального направления

7.6.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{ср15_16} = \frac{i_{ср15_18}}{Q_{15_16}^2} \quad A_{ср15_16} = 0.0000023776$$

$$A_{ср16_17} = \frac{i_{ср15_18}}{Q_{16_17}^2} \quad A_{ср16_17} = 0.0000095104$$

Рисунок 6.32 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

$$A_{cp17_18} = \frac{i_{cp15_18}}{Q_{17_18}^2} \quad A_{cp17_18} = 0.0000380415$$

7.6.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Участок 15-16

$$d_{tp}(t, A_{cp}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{15_16} = d_{tp}(T, A_{cp15_16}) \quad d_{15_16} = 0.232 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего

стандартного значения $d_{15_16.p} = 235$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{15_16.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{15_16})}{d_{15_16.p}^2} \quad V_{15_16.p} = 1.288 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{15_16} = A_{yc}(T, d_{15_16.p}, V_{15_16.p}) \quad A_{15_16} = 2.146$$

Участок 16-17

$$d_{16_17} = d_{tp}(T, A_{cp16_17}) \quad d_{16_17} = 0.178 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего

стандартного значения $d_{16_17.p} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{16_17.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{16_17})}{d_{16_17.p}^2} \quad V_{16_17.p} = 0.995 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{16_17} = A_{yc}(T, d_{16_17.p}, V_{16_17.p}) \quad A_{16_17} = 6.899$$

Рисунок 6.33 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_Б (продолжение)

Участок 17-18

$$d_{17_18} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{сп}17_18}) \quad d_{17_18} = 0.136 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{17_18.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{17_18.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{17_18})}{d_{17_18.p}^2} \quad V_{17_18.p} = 0.894 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{17_18} = A_{\text{ус}}(T, d_{17_18.p}, V_{17_18.p}) \quad A_{17_18} = 32.074$$

7.6.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w.15_16} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{15_16} \cdot L_{15_16} \cdot Q_{15_16}^2 \quad h_{w.15_16} = 10.959 \quad \text{м}$$

$$h_{w.16_17} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{16_17} \cdot L_{16_17} \cdot Q_{16_17}^2 \quad h_{w.16_17} = 2.975 \quad \text{м}$$

$$h_{w.17_18} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{17_18} \cdot L_{17_18} \cdot Q_{17_18}^2 \quad h_{w.17_18} = 2.075 \quad \text{м}$$

7.6.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w.\text{сум}} = h_{w.15_16} + h_{w.16_17} + h_{w.17_18} \quad h_{w.\text{сум}} = 16.008 \quad \text{м}$$

7.6.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.4.)

$$h_{w.\text{сум}} = 16.008 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_x + H_{\text{св.min}}) = 17$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.7.6.2.) и произвести пересчет п.7.6.3. и п.7.6.4.

7.6.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п.16}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w.15_16} \quad H_{\text{п.16}} = 181.041 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.17}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w.15_16} - h_{w.16_17} \quad H_{\text{п.17}} = 178.067 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.18}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w.15_16} - h_{w.16_17} - h_{w.17_18} \quad H_{\text{п.18}} = 175.992 \quad \text{м}$$

7.6.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{св.16}} = H_{\text{п.16}} - Z_x \quad H_{\text{св.16}} = 13.041 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св.17}} = H_{\text{п.17}} - Z_x \quad H_{\text{св.17}} = 10.067 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св.18}} = H_{\text{п.18}} - Z_x \quad H_{\text{св.18}} = 7.992 \quad \text{м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.min}} = 7$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

Рисунок 6.34 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

7.7. Расчет ответвления от магистрали

7.7.1. Средний гидравлический уклон для ответвления

$$i_{\text{ср16}_19} = \frac{[H_{\text{п.16}} - (Z_x + H_{\text{св.min}})]}{L_{16}_19} \quad i_{\text{ср16}_19} = 0.030207$$

7.7.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср16}_19} = \frac{i_{\text{ср16}_19}}{Q_{16}_19^2} \quad A_{\text{ср16}_19} = 0.0001541171$$

7.7.3. Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{16}_19 = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср16}_19}) \quad d_{16}_19 = 0.104 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{16}_19.p = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{16}_19.p = \frac{(1270 \cdot Q_{16}_19)}{d_{16}_19.p^2} \quad V_{16}_19.p = 0.894 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{16}_19 = A_{\text{ус}}(T, d_{16}_19.p, V_{16}_19.p) \quad A_{16}_19 = 32.074$$

7.7.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{w.16}_19 = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{16}_19 \cdot L_{16}_19 \cdot Q_{16}_19^2 \quad h_{w.16}_19 = 1.383 \text{ м}$$

7.7.5. Пьезометрический напор в узле

$$H_{\text{п.19}} = H_{\text{п.16}} - h_{w.16}_19 \quad H_{\text{п.19}} = 179.658 \text{ м}$$

7.7.6. Свободный напор в узле

$$H_{\text{св.19}} = H_{\text{п.19}} - Z_x \quad H_{\text{св.19}} = 11.658 \text{ м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.min}} = 7$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

7.8. Построение пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления 15-16-17-18 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{15}_16 \\ L_{15}_16 + L_{16}_17 \\ L_{15}_16 + L_{16}_17 + L_{17}_18 \end{pmatrix} \quad H_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} H_{\text{п.нач}} \\ H_{\text{п.16}} \\ H_{\text{п.17}} \\ H_{\text{п.18}} \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.35 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

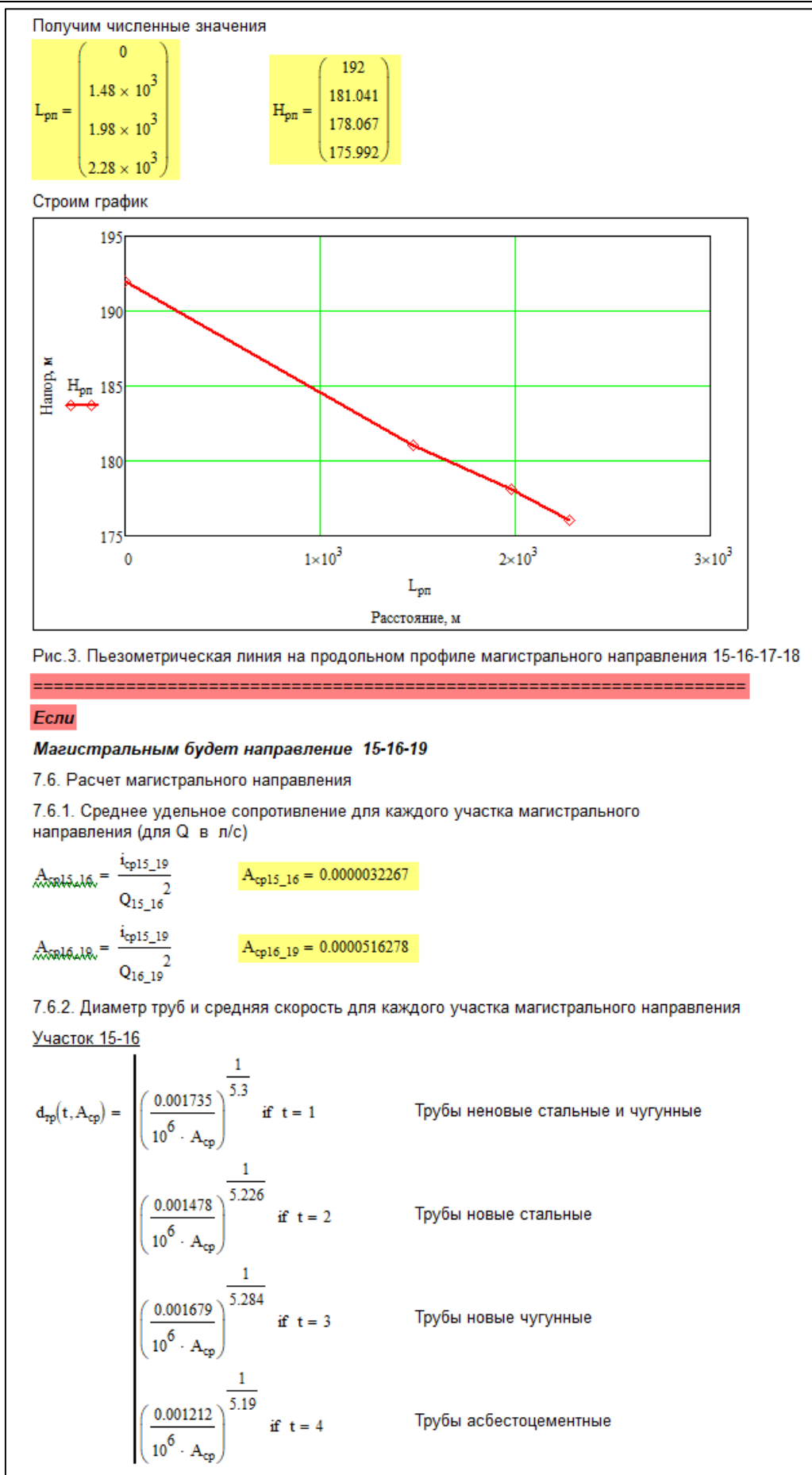


Рисунок 6.36 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

$$d_{15_16} = d_{тр}(T, A_{ср15_16}) \quad d_{15_16} = 0.219 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{15_16,р} = 235$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{15_16,р} = \frac{(1270 \cdot Q_{15_16})}{d_{15_16,р}^2} \quad V_{15_16,р} = 1.288 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{15_16} = A_{уc}(T, d_{15_16,р}, V_{15_16,р}) \quad A_{15_16} = 2.146$$

Участок 16-19

$$d_{16_19} = d_{тр}(T, A_{ср16_19}) \quad d_{16_19} = 0.128 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{16_19,р} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{16_19,р} = \frac{(1270 \cdot Q_{16_19})}{d_{16_19,р}^2} \quad V_{16_19,р} = 0.894 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{16_19} = A_{уc}(T, d_{16_19,р}, V_{16_19,р}) \quad A_{16_19} = 32.074$$

7.6.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w,15_16} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{15_16} \cdot L_{15_16} \cdot Q_{15_16}^2 \quad h_{w,15_16} = 10.959 \quad \text{м}$$

$$h_{w,16_19} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{16_19} \cdot L_{16_19} \cdot Q_{16_19}^2 \quad h_{w,16_19} = 1.383 \quad \text{м}$$

7.6.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,сум} = h_{w,15_16} + h_{w,16_19} \quad h_{w,сум} = 12.342 \quad \text{м}$$

7.6.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.4.)

$$h_{w,сум} = 12.342 \leq H_{п.нач} - (Z_x + H_{св.min}) = 17$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.7.6.2.) и произвести пересчет п.7.6.3. и п.7.6.4.

7.6.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{п,16} = H_{п.нач} - h_{w,15_16} \quad H_{п,16} = 181.041 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.37 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

$$H_{п.19} = H_{п.нач} - h_{w.15_16} - h_{w.16_19} \quad H_{п.19} = 179.658 \quad \text{м}$$

7.6.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{св.16} = H_{п.16} - Z_x \quad H_{св.16} = 13.041 \quad \text{м}$$

$$H_{св.19} = H_{п.19} - Z_x \quad H_{св.19} = 11.658 \quad \text{м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min} = 7 \quad \text{м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

7.7. Расчет ответвления от магистрали

7.7.1. Средний гидравлический уклон для участка-ответвления

$$i_{ср16_18} = \frac{[H_{п.16} - (Z_x + H_{св.min})]}{L_{16_17} + L_{17_18}} \quad i_{ср16_18} = 0.0075517$$

7.7.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{ср16_17} = \frac{i_{ср16_18}}{Q_{16_17}^2} \quad A_{ср16_17} = 0.0000096323$$

$$A_{ср17_18} = \frac{i_{ср16_18}}{Q_{17_18}^2} \quad A_{ср17_18} = 0.0000385293$$

7.7.3. Диаметр труб и средняя скорость для участков ответвления

Участок 16-17

$$d_{16_17} = d_{тр}(T, A_{ср16_17}) \quad d_{16_17} = 0.177 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{16_17,ср} = 189 \quad \text{мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{16_17,ср} = \frac{(1270 \cdot Q_{16_17})}{d_{16_17,ср}^2} \quad V_{16_17,ср} = 0.995 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{16_17} = A_{ус}(T, d_{16_17,ср}, V_{16_17,ср}) \quad A_{16_17} = 6.899$$

Участок 17-18

$$d_{17_18} = d_{тр}(T, A_{ср17_18}) \quad d_{17_18} = 0.136 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{17_18,ср} = 141 \quad \text{мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{17_18,ср} = \frac{(1270 \cdot Q_{17_18})}{d_{17_18,ср}^2} \quad V_{17_18,ср} = 0.894 \quad \text{м/с}$$

Рисунок 6.38 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (продолжение)

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{17,18} = A_{yc}(T, d_{17,18,p}, V_{17,18,p}) \quad A_{17,18} = 32.074$$

7.7.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{w,16,17} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{16,17} \cdot L_{16,17} \cdot Q_{16,17}^2 \quad h_{w,16,17} = 2.975 \text{ м}$$

$$h_{w,17,18} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{17,18} \cdot L_{17,18} \cdot Q_{17,18}^2 \quad h_{w,17,18} = 2.075 \text{ м}$$

7.7.5. Пьезометрический напор в узле

$$H_{п,18} = H_{п,16} - h_{w,16,17} - h_{w,17,18} \quad H_{п,18} = 175.992 \text{ м}$$

7.7.6. Свободный напор в узле

$$H_{св,18} = H_{п,18} - Z_x \quad H_{св,18} = 7.992 \text{ м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св,min} = 7 \text{ м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб какого-либо участка и произвести перерасчет.

7.8. Построение пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления 15-16-19 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{15,16} \\ L_{15,16} + L_{16,19} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п,нач} \\ H_{п,16} \\ H_{п,19} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.48 \times 10^3 \\ 1.68 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} 192 \\ 181.041 \\ 179.658 \end{pmatrix}$$

Строим график

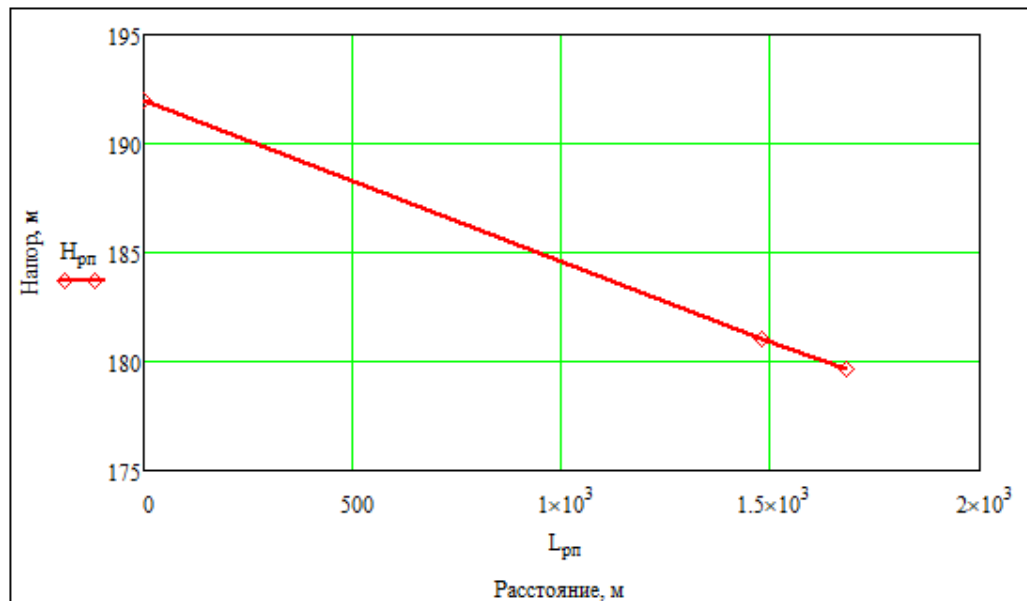


Рис.3. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 15-16-19

Рисунок 6.39 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Б (окончание)

Исходные данные варианта В

Значение $N_{\text{xxx}} = 40$

Сифон 1-2

Длина труб $L_{\text{сиф}} = 50 + 2 \cdot N$ $L_{\text{сиф}} = 130$ м

Длина вертикальной части трубы сифона $L_{\text{сиф}_в} = 8$ м

Скорость движения воды в сифоне: от $V_1 = 0.8$ м/с

до $V_2 = 1.3$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{\text{вак}_\text{сиф}} = 6.5$ м водяного столба

Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Отметка входного сечения сифона $Z_1 = Z_0 - 3$ $Z_1 = 137$ м

Коэффициенты местных сопротивлений: вход через сетку $\zeta_c = 3$

колени $\zeta_{\text{кол}_c} = 0.3$

выход $\zeta_{\text{вых}} = 1$

Всасывающая линия 3-4

Длина трубопровода всасывающей линии $L_{\text{вс}} = 20 + 0.4 \cdot N$ $L_{\text{вс}} = 36$ м

Скорость движения воды: от $V_3 = 0.5$ м/с

до $V_4 = 1.0$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{\text{вак}_\text{вс}} = 7$ м водяного столба

Коэффициенты местных сопротивлений: приемный клапан $\zeta_{\text{кл}} = 10$

колени $\zeta_{\text{кол}_\text{вс}} = 0.33$

Число колен всасывающей линии $N_{\text{кол}_\text{вс}} = 3$

Насос

Коэффициент полезного действия $\eta_1 = 0.6$

Расход воды, подаваемой насосом $Q_{\text{н}} = 30 + 0.3 \cdot N$ $Q_{\text{н}} = 42$ л/с

Водовод 5-6-10 и разводящая сеть 9-6-7-8

Диаметр труб участка 5-6 $d_{5_6} = 250$ мм

Протяженность участков

$L_{5_6} = 1000 + 50 \cdot N$ $L_{5_6} = 3000$ м $L_{6_7} = 100 + 5 \cdot N$ $L_{6_7} = 300$ м

$L_{6_{10}} = 100 + 10 \cdot N$ $L_{6_{10}} = 500$ м $L_{7_8} = 100 + 5 \cdot N$ $L_{7_8} = 300$ м

Рисунок 6.40 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (начало)

$$L_{6-9} = 300 \text{ м}$$

Расход воды в точках водопотребления 6,7,8,9

$$Q_6 = 15 \text{ л/с} \quad Q_8 = 5 + 0.5 \cdot N \quad Q_8 = 25 \text{ л/с}$$

$$Q_7 = 20 \text{ л/с} \quad Q_9 = 10 + 0.5 \cdot N \quad Q_9 = 30 \text{ л/с}$$

Отметки земли в точках водопотребления 6,7,8,9

$$Z_6 = 128 + N \quad Z_6 = 168 \text{ м} \quad Z_8 = 127 + N \quad Z_8 = 167 \text{ м}$$

$$Z_7 = 128 + N \quad Z_7 = 168 \text{ м} \quad Z_9 = 126 + N \quad Z_9 = 166 \text{ м}$$

Минимальная величина свободного напора в каждой точке водопотребления

$$H_{св.min} = 8 \text{ м}$$

Водонапорная башня Д

Отметка поверхности земли: $Z_{10} = 136 + N \quad Z_{10} = 176 \text{ м}$

Высота ствола башни $H_6 = 12 \text{ м}$

Высота резервуара $H_{рез} = 4 \text{ м}$

Коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.0$

Ускорение свободного падения $g = 9.81$

Удельный вес воды $\gamma = 1.0 \text{ кг/дм}^3$

Тип труб (1-новые стальные и чугунные, 2-новые стальные, 3-новые чугунные, 4-асбестоцементные) $\Gamma = 4$

Расчетная часть

1. Определение диаметра сифона 1-2

1.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды в сифоне

$$V_{сиф.ср} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad V_{сиф.ср} = 1.05 \text{ м/с}$$

1.2. Диаметр трубы

$$d_{сиф} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{сиф.ср}}} \quad d_{сиф} = 225.787 \text{ мм}$$

1.3. Используя табл., округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{сиф.р} = 233 \text{ мм}$

1.4. При расчетном диаметре трубы средняя скорость течения воды в дюкере составит

$$V_{сиф.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{сиф.р}^2} \quad V_{сиф.р} = 0.966 \text{ м/с}$$

Рисунок 6.41 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

2. Определение отметки воды Z_3 в колодце Б

2.1. Значение удельного сопротивления для трубопровода (дюкера)

$$A_{yc}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 & \end{array} \right. \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$A_{сиф} = A_{yc}(T, d_{сиф,р}, V_{сиф,р})$$

$$A_{сиф} = 2.237$$

2.2. Потери напора по длине сифона

$$h_{1,сиф} = 10^{-6} \cdot A_{сиф} \cdot L_{сиф} \cdot Q_n^2$$

$$h_{1,сиф} = 0.513 \quad \text{м}$$

2.3. Местные потери напора в сифоне

$$h_{м,сиф} = \frac{V_{сиф,р}^2 \cdot (\zeta_c + \zeta_{кол,с} + \zeta_{вых})}{2 \cdot g}$$

$$h_{м,сиф} = 0.214 \quad \text{м}$$

2.4. Суммарные потери напора в сифоне

$$h_{w,сиф} = h_{1,сиф} + h_{м,сиф}$$

$$h_{w,сиф} = 0.727 \quad \text{м}$$

2.5. Отметка уровня воды в колодце Б

$$Z_3 = Z_0 - h_{w,сиф}$$

$$Z_3 = 139.273 \quad \text{м}$$

3. Определение отметки наиболее возвышенной точки сифона Z_2

3.1. Потери напора по длине

$$h_{1,сиф2} = 10^{-6} \cdot A_{сиф} \cdot (L_{сиф} - L_{сиф,в}) \cdot Q_n^2$$

$$h_{1,сиф2} = 0.481 \quad \text{м}$$

3.2. Местные потери напора

$$h_{м,сиф2} = \frac{V_{сиф,р}^2 \cdot (\zeta_c + \zeta_{кол,с})}{2 \cdot g}$$

$$h_{м,сиф2} = 0.166 \quad \text{м}$$

3.3. Суммарные потери напора

$$h_{w,сиф2} = h_{1,сиф2} + h_{м,сиф2}$$

$$h_{w,сиф2} = 0.648 \quad \text{м}$$

3.4. Отметка уровня воды в наиболее возвышенной точке сифона

$$Z_2 = Z_0 + H_{вак,сиф} - h_{w,сиф2} - \frac{V_{сиф,р}^2}{2 \cdot g}$$

$$Z_2 = 145.805 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.42 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_В (продолжение)

3.5. Построение пьезометрической и напорной линии на продольном профиле сифона

Вначале определим абсциссы и ординаты напорной линии

$$\begin{aligned}
 L_{сн_0} &= 0 & H_{сн_0} &= Z_0 \\
 L_{сн_1} &= L_{сн_0} & H_{сн_1} &= H_{сн_0} - \frac{V_{сиф.p}^2 \cdot \zeta_c}{2 \cdot g} \\
 L_{сн_2} &= L_{сн_1} + (L_{сиф} - L_{сиф_в}) & H_{сн_2} &= H_{сн_1} - \left[10^{-6} \cdot A_{сиф} \cdot (L_{сиф} - L_{сиф_в}) \cdot Q_H^2 \right] \\
 L_{сн_3} &= L_{сн_2} & H_{сн_3} &= H_{сн_2} - \frac{V_{сиф.p}^2 \cdot \zeta_{кол.c}}{2 \cdot g} \\
 L_{сн_4} &= L_{сн_3} & H_{сн_4} &= H_{сн_3} - \left(10^{-6} \cdot A_{сиф} \cdot L_{сиф_в} \cdot Q_H^2 \right) \\
 L_{сн_5} &= L_{сн_4} & H_{сн_5} &= H_{сн_4} - \frac{V_{сиф.p}^2 \cdot \zeta_{вых}}{2 \cdot g}
 \end{aligned}$$

Определим ординаты пьезометрической линии

$$H_{сп} = H_{сн} - \frac{\alpha V_{сиф.p}^2}{2 \cdot g}$$

Получим численные значения

$L_{сн} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 122 \\ 122 \\ 122 \\ 122 \end{pmatrix}$	$H_{сн} = \begin{pmatrix} 140 \\ 139.857 \\ 139.376 \\ 139.352 \\ 139.321 \\ 139.273 \end{pmatrix}$	$H_{сп} = \begin{pmatrix} 139.952 \\ 139.81 \\ 139.328 \\ 139.305 \\ 139.273 \\ 139.225 \end{pmatrix}$
---	---	--

Строим график

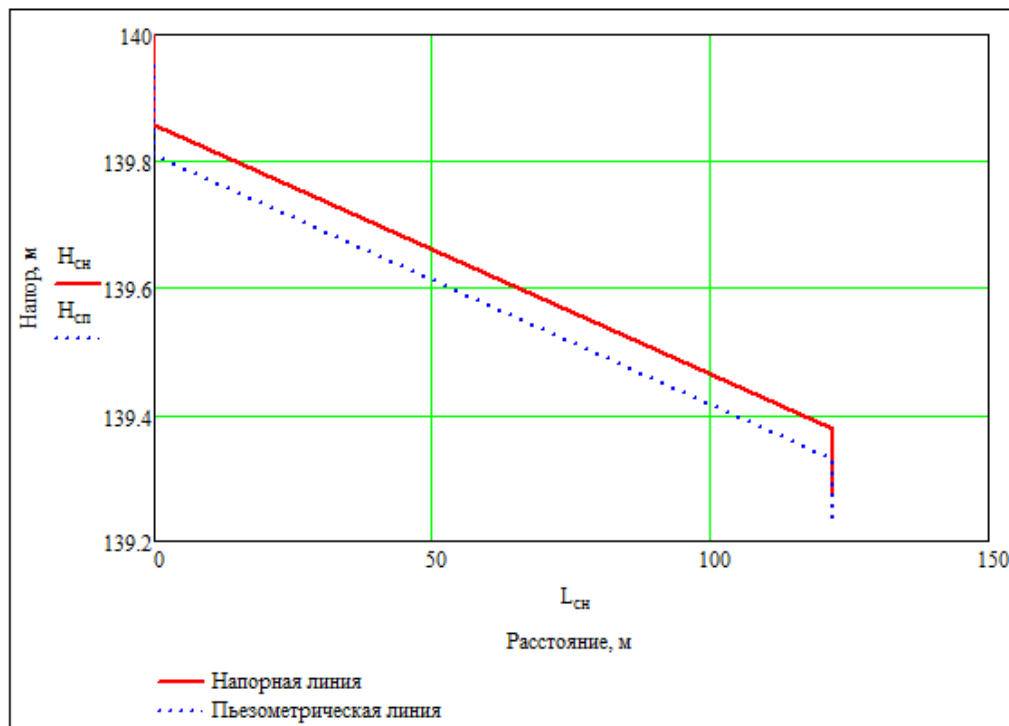


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле сифона

Рисунок 6.43 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

4. Определение диаметра всасывающей линии 3-4

4.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды во всасывающей линии

$$V_{\text{вс.ср}} = \frac{(V_3 + V_4)}{2} \quad V_{\text{вс.ср}} = 0.75 \quad \text{м/с}$$

4.2. Диаметр всасывающей трубы

$$d_{\text{вс}} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{н}}}{V_{\text{вс.ср}}}} \quad d_{\text{вс}} = 267.154 \quad \text{мм}$$

4.3. Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{\text{вс.р}} = 279 \quad \text{мм}$

4.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{\text{вс.р}} = \frac{(1270 \cdot Q_{\text{н}})}{d_{\text{вс.р}}^2} \quad V_{\text{вс.р}} = 0.685 \quad \text{м/с}$$

5. Определение отметки оси насоса Z_4

5.1. Значение удельного сопротивления для всасывающей трубы

$$A_{\text{вс}} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вс.р}}, V_{\text{вс.р}}) \quad A_{\text{вс}} = 0.968$$

5.2. Потери напора по длине всасывающей линии

$$h_{\text{л.вс}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{вс}} \cdot L_{\text{вс}} \cdot Q_{\text{н}}^2 \quad h_{\text{л.вс}} = 0.061 \quad \text{м}$$

5.3. Местные потери напора во всасывающей линии

$$h_{\text{м.вс}} = \frac{V_{\text{вс.р}}^2 \cdot (\zeta_{\text{вкл}} + N_{\text{кол.вс}} \cdot \zeta_{\text{кол.вс}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м.вс}} = 0.263 \quad \text{м}$$

5.4. Суммарные потери напора во всасывающей линии

$$h_{\text{w.вс}} = h_{\text{л.вс}} + h_{\text{м.вс}} \quad h_{\text{w.вс}} = 0.324 \quad \text{м}$$

5.5. Отметка оси насоса

$$Z_4 = Z_3 + H_{\text{вак.вс}} - h_{\text{w.вс}} - \frac{(\alpha \cdot V_{\text{вс.р}}^2)}{2 \cdot g} \quad Z_4 = 145.925 \quad \text{м}$$

6. Расчет разводящей сети

6.1. Расходы воды на участках

$$Q_{6_10} = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad Q_{6_10} = 90 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{6_7} = Q_7 + Q_8 \quad Q_{6_7} = 45 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{7_8} = Q_8 \quad Q_{7_8} = 25 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{6_9} = Q_9 \quad Q_{6_9} = 30 \quad \text{л/с}$$

6.2. Пьезометрический напор в начале разводящей сети

$$H_{\text{п.нач}} = Z_{10} + H_6 \quad H_{\text{п.нач}} = 188 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.44 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_В (продолжение)

6.3. Средний гидравлический уклон для направлений движения воды до наиболее удаленных точек водопотребления

$$i_{cp10_8} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_8 + H_{св.min})]}{L_{6_10} + L_{6_7} + L_{7_8}} \quad i_{cp10_8} = 0.0118182$$

$$i_{cp10_9} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_9 + H_{св.min})]}{L_{6_10} + L_{6_9}} \quad i_{cp10_9} = 0.0175$$

6.4. По наименьшему среднему гидравлическому уклону

$$i_{cp.min} = \text{if}(i_{cp10_8} < i_{cp10_9}, i_{cp10_8}, i_{cp10_9}) \quad i_{cp.min} = 0.0118182$$

находим магистральное направление

=====

Если

Магистральным будет направление 10-6-7-8

6.5. Расчет магистрального направления

6.5.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{cp10_6} = \frac{i_{cp10_8}}{Q_{6_10}^2} \quad A_{cp10_6} = 0.000001459$$

$$A_{cp6_7} = \frac{i_{cp10_8}}{Q_{6_7}^2} \quad A_{cp6_7} = 0.0000058361$$

$$A_{cp7_8} = \frac{i_{cp10_8}}{Q_{7_8}^2} \quad A_{cp7_8} = 0.0000189091$$

6.5.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Участок 10-6

$$d_{тр}(t, A_{cp}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{10_6} = d_{тр}(T, A_{cp10_6}) \quad d_{10_6} = 0.255 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.45 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{10_6.p} = 279$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{10_6.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{6_10})}{d_{10_6.p}^2} \quad V_{10_6.p} = 1.468 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{10_6} = A_{yc}(T, d_{10_6.p}, V_{10_6.p}) \quad A_{10_6} = 0.865$$

Участок 6-7

$$d_{6_7} = d_{tp}(T, A_{cp6_7}) \quad d_{6_7} = 0.195 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{6_7.p} = 235$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{6_7.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{6_7})}{d_{6_7.p}^2} \quad V_{6_7.p} = 1.035 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{6_7} = A_{yc}(T, d_{6_7.p}, V_{6_7.p}) \quad A_{6_7} = 2.215$$

Участок 7-8

$$d_{7_8} = d_{tp}(T, A_{cp7_8}) \quad d_{7_8} = 0.156 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{7_8.p} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{7_8.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{7_8})}{d_{7_8.p}^2} \quad V_{7_8.p} = 0.889 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{7_8} = A_{yc}(T, d_{7_8.p}, V_{7_8.p}) \quad A_{7_8} = 7.017$$

6.5.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w.10_6} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{10_6} \cdot L_{6_10} \cdot Q_{6_10}^2 \quad h_{w.10_6} = 3.854 \quad \text{м}$$

$$h_{w.6_7} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{6_7} \cdot L_{6_7} \cdot Q_{6_7}^2 \quad h_{w.6_7} = 1.48 \quad \text{м}$$

$$h_{w.7_8} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{7_8} \cdot L_{7_8} \cdot Q_{7_8}^2 \quad h_{w.7_8} = 1.447 \quad \text{м}$$

6.5.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w.сум} = h_{w.10_6} + h_{w.6_7} + h_{w.7_8} \quad h_{w.сум} = 6.782 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.46 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

6.5.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.6.3.)

$$h_{w, \text{сум}} = 6.782 \leq H_{п. \text{нач}} - (Z_8 + H_{\text{св. min}}) = 13$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.6.5.2.) и произвести пересчет п.6.5.3. и п.6.5.4.

6.5.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{п.6} = H_{п. \text{нач}} - h_{w.10_6} \quad H_{п.6} = 184.146 \quad \text{м}$$

$$H_{п.7} = H_{п. \text{нач}} - h_{w.10_6} - h_{w.6_7} \quad H_{п.7} = 182.666 \quad \text{м}$$

$$H_{п.8} = H_{п. \text{нач}} - h_{w.10_6} - h_{w.6_7} - h_{w.7_8} \quad H_{п.8} = 181.218 \quad \text{м}$$

6.5.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{св.6}} = H_{п.6} - Z_6 \quad H_{\text{св.6}} = 16.146 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св.7}} = H_{п.7} - Z_7 \quad H_{\text{св.7}} = 14.666 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св.8}} = H_{п.8} - Z_8 \quad H_{\text{св.8}} = 14.218 \quad \text{м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св. min}} = 8 \quad \text{м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

6.6. Расчет ответвления от магистрали

6.6.1. Средний гидравлический уклон для ответвления

$$i_{\text{ср6}_9} = \frac{[H_{п. \text{нач}} - (Z_9 + H_{\text{св. min}})]}{L_{6_10} + L_{6_9}} \quad i_{\text{ср6}_9} = 0.0175$$

6.6.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср6}_9} = \frac{i_{\text{ср6}_9}}{Q_{6_9}^2} \quad A_{\text{ср6}_9} = 0.0000194444$$

6.6.3. Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{6_9} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср6}_9}) \quad d_{6_9} = 0.155 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{6_9, \text{п}} = 189 \quad \text{мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{6_9, \text{п}} = \frac{(1270 \cdot Q_{6_9})}{d_{6_9, \text{п}}^2} \quad V_{6_9, \text{п}} = 1.067 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{6_9} = A_{\text{уч}}(T, d_{6_9, \text{п}}, V_{6_9, \text{п}}) \quad A_{6_9} = 6.829$$

Рисунок 6.47 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

6.6.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{w.6.9} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{6.9} \cdot L_{6.9} \cdot Q_{6.9}^2 \quad h_{w.6.9} = 2.028 \text{ м}$$

6.6.5. Пьезометрический напор в узле

$$H_{п.9} = H_{п.6} - h_{w.6.9} \quad H_{п.9} = 182.117 \text{ м}$$

6.6.6. Свободный напор в узле

$$H_{св.9} = H_{п.9} - Z_9 \quad H_{св.9} = 16.117 \text{ м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min} = 8 \text{ м}$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб какого-либо участка и произвести перерасчет.

6.7. Построение пьезометрической линии на продольном профиле направления 10-6-7-8 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{6.10} \\ L_{6.10} + L_{6.7} \\ L_{6.10} + L_{6.7} + L_{7.8} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.6} \\ H_{п.7} \\ H_{п.8} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 800 \\ 1.1 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} 188 \\ 184.146 \\ 182.666 \\ 181.218 \end{pmatrix}$$

Строим график

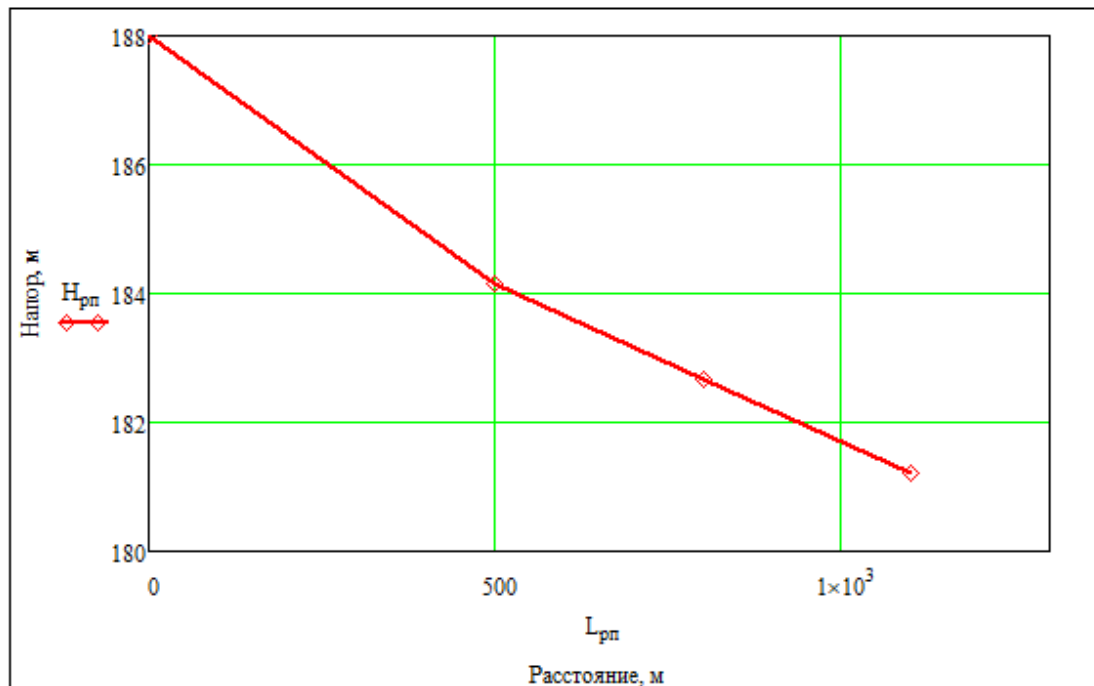


Рис.2. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 10-6-7-8

Рисунок 6.48 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

Если

Магистральным будет направление 10-6-9

6.5. Расчет магистрального направления

6.5.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}10_6} = \frac{i_{\text{ср}10_9}}{Q_{6_10}^2} \quad A_{\text{ср}10_6} = 0.0000021605$$

$$A_{\text{ср}6_9} = \frac{i_{\text{ср}10_9}}{Q_{6_9}^2} \quad A_{\text{ср}6_9} = 0.0000194444$$

6.5.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Участок 10-6

$$d_{\text{тр}}(t, A_{\text{ср}}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{10_6} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}10_6}) \quad d_{10_6} = 0.236 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{10_6.p} = 235$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{10_6.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{6_10})}{d_{10_6.p}^2} \quad V_{10_6.p} = 2.07 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{10_6} = A_{\text{ус}}(T, d_{10_6.p}, V_{10_6.p}) \quad A_{10_6} = 2.019$$

Рисунок 6.49 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

Участок 6-9

$$d_{6,9} = d_{тр}(T, A_{ср6,9}) \quad d_{6,9} = 0.155 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{6,9,р} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{6,9,р} = \frac{(1270 \cdot Q_{6,9})}{d_{6,9,р}^2} \quad V_{6,9,р} = 1.067 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{6,9} = A_{уд}(T, d_{6,9,р}, V_{6,9,р}) \quad A_{6,9} = 6.829$$

6.5.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w,10,6} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{10,6} \cdot L_{6,10} \cdot Q_{6,10}^2 \quad h_{w,10,6} = 8.992 \quad \text{м}$$

$$h_{w,6,9} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{6,9} \cdot L_{6,9} \cdot Q_{6,9}^2 \quad h_{w,6,9} = 2.028 \quad \text{м}$$

6.5.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,сум} = h_{w,10,6} + h_{w,6,9} \quad h_{w,сум} = 11.021 \quad \text{м}$$

6.5.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.6.3.)

$$h_{w,сум} = 11.021 \leq H_{п.нач} - (Z_9 + H_{св.min}) = 14$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.6.5.2.) и произвести пересчет п.6.5.3. и п.6.5.4.

6.5.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{п,6} = H_{п.нач} - h_{w,10,6} \quad H_{п,6} = 179.008 \quad \text{м}$$

$$H_{п,9} = H_{п.нач} - h_{w,10,6} - h_{w,6,9} \quad H_{п,9} = 176.979 \quad \text{м}$$

6.5.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{св,6} = H_{п,6} - Z_6 \quad H_{св,6} = 11.008 \quad \text{м}$$

$$H_{св,9} = H_{п,9} - Z_9 \quad H_{св,9} = 10.979 \quad \text{м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min} = 8$ м

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

6.6. Расчет ответвления от магистрали

6.6.1. Средний гидравлический уклон для участка-ответвления

$$i_{ср6,8} = \frac{[H_{п,6} - (Z_8 + H_{св.min})]}{L_{6,7} + L_{7,8}} \quad i_{ср6,8} = 0.0066792$$

Рисунок 6.50 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

6.6.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}6_7} = \frac{i_{\text{ср}6_8}}{Q_{6_7}^2} \quad A_{\text{ср}6_7} = 0.0000032984$$

$$A_{\text{ср}7_8} = \frac{i_{\text{ср}6_8}}{Q_{7_8}^2} \quad A_{\text{ср}7_8} = 0.0000106867$$

6.6.3. Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

Участок 6-7

$$d_{6_7} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}6_7}) \quad d_{6_7} = 0.218 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{6_7.p} = 233$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{6_7.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{6_7})}{d_{6_7.p}^2} \quad V_{6_7.p} = 1.035 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{6_7} = A_{\text{уч}}(T, d_{6_7.p}, V_{6_7.p}) \quad A_{6_7} = 2.215$$

Участок 7-8

$$d_{7_8} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}7_8}) \quad d_{7_8} = 0.174 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{7_8.p} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{7_8.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{7_8})}{d_{7_8.p}^2} \quad V_{7_8.p} = 0.889 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{7_8} = A_{\text{уч}}(T, d_{7_8.p}, V_{7_8.p}) \quad A_{7_8} = 7.017$$

6.6.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{\text{в}6_7} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{6_7} \cdot L_{6_7} \cdot Q_{6_7}^2 \quad h_{\text{в}6_7} = 1.48 \quad \text{м}$$

$$h_{\text{в}7_8} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{7_8} \cdot L_{7_8} \cdot Q_{7_8}^2 \quad h_{\text{в}7_8} = 1.447 \quad \text{м}$$

6.6.5. Пьезометрический напор в узле

$$H_{\text{п}8} = H_{\text{п}6} - h_{\text{в}6_7} - h_{\text{в}7_8} \quad H_{\text{п}8} = 176.08 \quad \text{м}$$

6.6.6. Свободный напор в узле

$$H_{\text{св}8} = H_{\text{п}8} - Z_8 \quad H_{\text{св}8} = 9.08 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.51 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{св.min} = 8 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

6.7. Построение пьезометрической линии на продольном профиле направления 10-6-9 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{6_10} \\ L_{6_10} + L_{6_9} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.6} \\ H_{п.9} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 800 \end{pmatrix}$$

$$H_{рп} = \begin{pmatrix} 188 \\ 179.008 \\ 176.979 \end{pmatrix}$$

Строим график

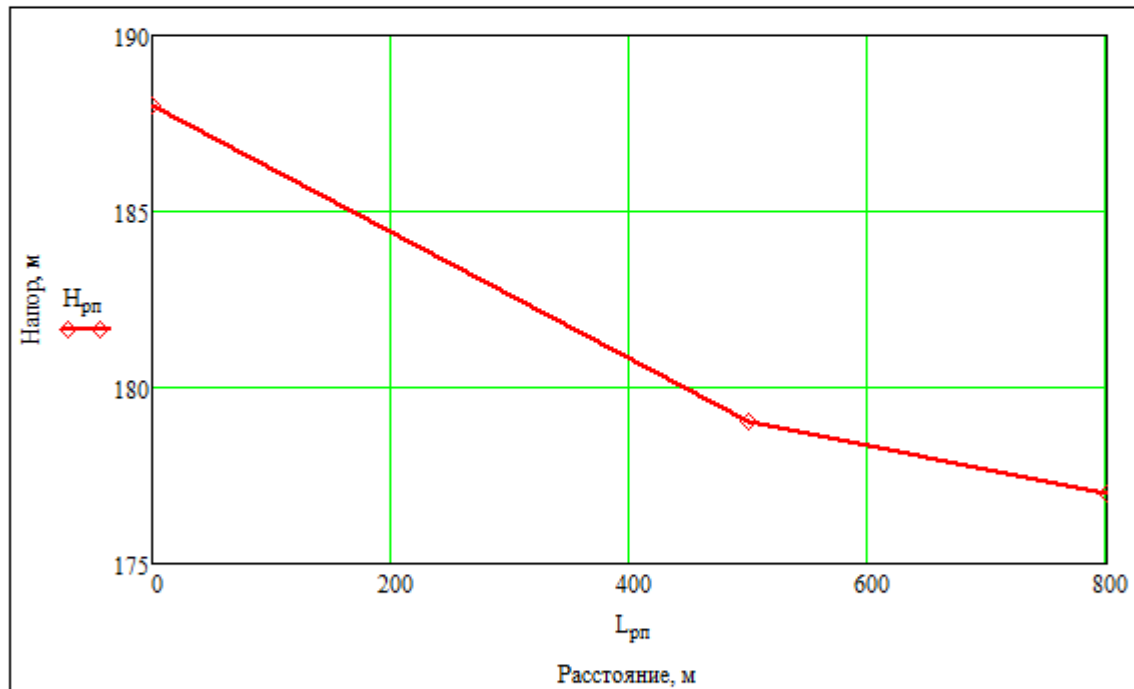


Рис.2. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 10-6-9

7. Определение напора, развиваемого насосом

7.1. Отметка уровня воды в резервуаре водонапорной башни

$$Z_{рез} = Z_{10} + H_6 + H_{рез} \quad Z_{рез} = 192 \text{ м}$$

7.2. Геодезическая высота подъема воды

$$H_T = Z_{рез} - Z_3 \quad H_T = 52.727 \text{ м}$$

Рисунок 6.52 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

7.3. При заданном значении $d_{5_6} = 250$ мм (условный проход)

следует по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{5_6.p} = 279$ мм

7.4. Для участка водовода 5-6

$$V_{5_6.p} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{5_6.p}^2} \quad V_{5_6.p} = 0.685 \quad \text{м/с}$$

$$A_{5_6} = A_{\text{уч}}(T, d_{5_6.p}, V_{5_6.p}) \quad A_{5_6} = 0.968$$

7.5. Для участка водовода 6-10

$$V_{6_10.p} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{10_6.p}^2} \quad V_{6_10.p} = 0.966 \quad \text{м/с}$$

$$A_{6_10} = A_{\text{уч}}(T, d_{10_6.p}, V_{6_10.p}) \quad A_{6_10} = 2.237$$

7.6. Определение потерь напора в водоводе

$$h_{\text{w.вод.5_6}} = 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{5_6} \cdot Q_H^2 \cdot L_{5_6} \quad h_{\text{w.вод.5_6}} = 5.635 \quad \text{м}$$

$$h_{\text{w.вод.6_10}} = 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot A_{6_10} \cdot Q_H^2 \cdot L_{6_10} \quad h_{\text{w.вод.6_10}} = 2.171 \quad \text{м}$$

$$h_{\text{w.вод}} = h_{\text{w.вод.5_6}} + h_{\text{w.вод.6_10}} \quad h_{\text{w.вод}} = 7.806 \quad \text{м}$$

7.7. Напор, развиваемый насосом

$$H_H = H_T + h_{\text{w.вс}} + h_{\text{w.вод}} \quad H_H = 60.857 \quad \text{м}$$

7.8. Построение пьезометрической линии на продольном профиле водовода 5-6-10

Вначале определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{\text{вп}0} = 0 \quad H_{\text{вп}0} = Z_3 + H_T + h_{\text{w.вод}}$$

$$L_{\text{вп}1} = L_{5_6} \quad H_{\text{вп}1} = H_{\text{вп}0} - h_{\text{w.вод.5_6}}$$

$$L_{\text{вп}2} = L_{\text{вп}1} + L_{6_10} \quad H_{\text{вп}2} = H_{\text{вп}1} - h_{\text{w.вод.6_10}}$$

Получим численные значения координат

$$L_{\text{вп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \times 10^3 \\ 3.5 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$H_{\text{вп}} = \begin{pmatrix} 199.806 \\ 194.171 \\ 192 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.53 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (продолжение)

Строим график

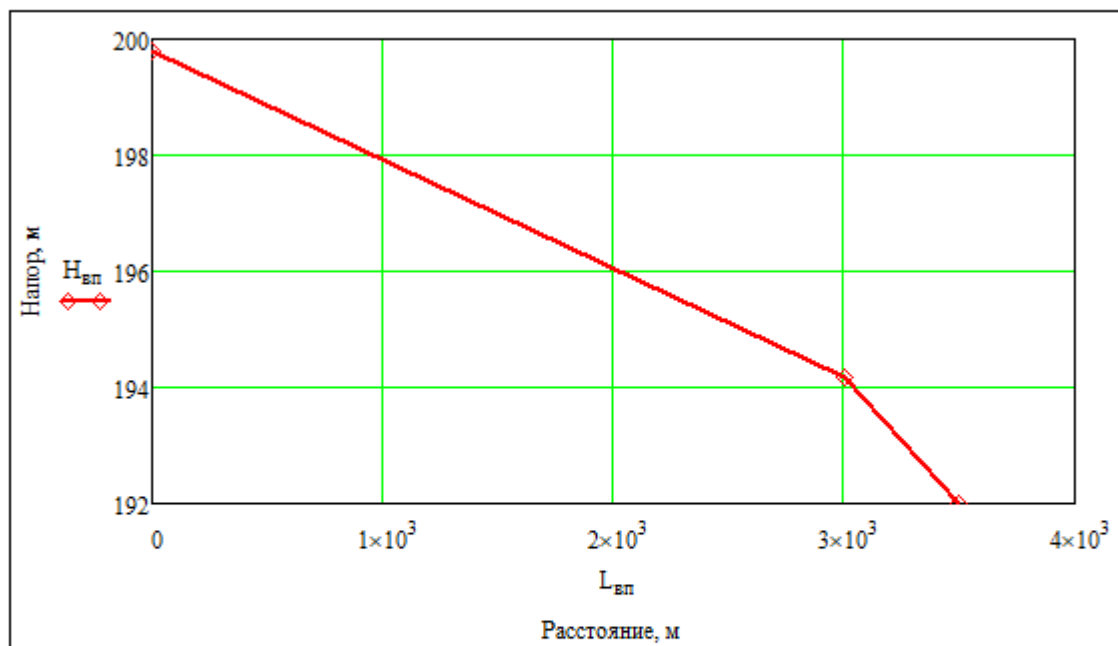


Рис.3. Пьезометрическая линия на продольном профиле водовода 5-6-10

8. Мощность на валу насоса

$$N_3 = \frac{(\gamma \cdot Q_n \cdot H_n)}{102 \cdot \eta} \quad N_3 = 41.765 \text{ кВт}$$

Рисунок 6.54 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_В (окончание)

Исходные данные варианта Г

Значение $N_{\text{max}} = 40$

Сифоны 1-2 и 3-4

Отметки поверхности воды в колодцах А и Б $Z_1 = 100 + N$ $Z_1 = 140$ м

$Z_4 = Z_1$ $Z_4 = 140$ м

Длина трубопровода-сифона 1-2 $L_{\text{сиф}1_2} = 200 + 2 \cdot N$ $L_{\text{сиф}1_2} = 280$ м

Длина трубопровода-сифона 3-4 $L_{\text{сиф}3_4} = 200 + 2 \cdot N$ $L_{\text{сиф}3_4} = 280$ м

Длина вертикального участка сифона в колодце В $L_{\text{сиф}_в} = 8$ м

Длина вертикального участка сифона в колодцах А и Б $L_{\text{сиф}_аб} = 2$ м

Глубина погружения трубы под уровень воды в колодцах А и Б $h_{\text{сиф}_аб} = 1$ м

Скорость движения воды в сифоне: от $V_1 = 1.2$ м/с

до $V_2 = 1.5$ м/с

Наибольший вакуум $H_{\text{вак}_\text{сиф}} = 7$ м водяного столба

Коэффициенты местных сопротивлений: вход через сетку $C_c = 2.5$

поворот $C_{\text{п}} = 0.3$

выход $C_{\text{вых}} = 1$

Всасывающая линия 5-6

Длина трубопровода всасывающей линии $L_{\text{вс}} = 30 + 0.5 \cdot N$ $L_{\text{вс}} = 50$ м

Скорость движения воды: от $V_3 = 0.8$ м/с

до $V_4 = 1.2$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{\text{вак}_\text{вс}} = 7$ м водяного столба

Коэффициенты местных сопротивлений: приемный клапан $C_{\text{кл}} = 3$

колесо $C_{\text{кол}} = 0.33$

Число колен всасывающей линии $N_{\text{кол}} = 3$

Насос

Коэффициент полезного действия $\eta_1 = 0.7$

Расход воды, подаваемой насосом $Q_H = 60 + N$ $Q_H = 100$ л/с

Водовод 7-8-9-10

Длина участков водовода

$L_{\text{вод}7_8} = 1000 + 10 \cdot N$ $L_{\text{вод}7_8} = 1400$ м

$L_{\text{вод}8_9} = 400 + 10 \cdot N$ $L_{\text{вод}8_9} = 800$ м

Рисунок 6.55 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (начало)

$$L_{\text{вод8}_9} = 500 + 10 \cdot N$$

$$L_{\text{вод8}_9} = 900 \text{ м}$$

$$L_{\text{вод9}_{10}} = 500$$

Диаметры труб участков водовода

$$d_{\text{вод7}_8} = 350 \text{ мм}$$

$$d_{\text{вод8}_9} = 300 \text{ мм}$$

$$d_{\text{вод8}_9} = 200 \text{ мм}$$

$$d_{\text{вод9}_{10}} = 300 \text{ мм}$$

Водонапорная башня Д

Отметки поверхности земли: $Z_{10} = 130 + 1.5 \cdot N$ $Z_{10} = 190 \text{ м}$

$$Z_{11} = Z_{10} \quad Z_{11} = 190 \text{ м}$$

Высота ствола башни $H_6 = 10 \text{ м}$

Высота резервуара $H_{\text{рез}} = 3 \text{ м}$

Разводящая сеть

Протяженность участков разводящей сети

$$L_{11,12} = 150 + 2 \cdot N \quad L_{11,12} = 230 \text{ м} \quad L_{12,14} = 180 + 2 \cdot N \quad L_{12,14} = 260 \text{ м}$$

$$L_{12,13} = 200 + 2 \cdot N \quad L_{12,13} = 280 \text{ м} \quad L_{12,15} = 250 + 2 \cdot N \quad L_{12,15} = 330 \text{ м}$$

Расходы воды в точках водопотребления 12,13,14,15

$$Q_{12} = 20 + 0.5 \cdot N \quad Q_{12} = 40 \text{ л/с} \quad Q_{14} = 35 + 0.5 \cdot N \quad Q_{14} = 55 \text{ л/с}$$

$$Q_{13} = 25 + 0.5 \cdot N \quad Q_{13} = 45 \text{ л/с} \quad Q_{15} = 10 + 0.5 \cdot N \quad Q_{15} = 30 \text{ л/с}$$

Отметки земли в точках водопотребления 12,13,14,15

$$Z_{12} = 115 + 1.5 \cdot N \quad Z_{12} = 175 \text{ м} \quad Z_{14} = 113 + 1.5 \cdot N \quad Z_{14} = 173 \text{ м}$$

$$Z_{13} = 114 + 1.5 \cdot N \quad Z_{13} = 174 \text{ м} \quad Z_{15} = 112 + 1.5 \cdot N \quad Z_{15} = 172 \text{ м}$$

Требуемый (минимальный) свободный напор в точках водопотребления

$$H_{\text{св. min. 12}} = 12 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 13}} = 10 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 14}} = 8 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 15}} = 10 \text{ м}$$

Коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.0$

Ускорение свободного падения $g = 9.81$

Удельный вес воды $\gamma = 1.0 \text{ кг/дм}^3$

Тип труб (1-новые стальные и чугунные, 2-новые стальные, 3-новые чугунные, 4-асбестоцементные) $\Gamma_{\text{кв}} = 4$

Расчетная часть

1. Определение диаметров сифонов 1-2 и 3-4

1.1. Расход воды

$$Q_{\text{сиф}} = \frac{Q_{\text{н}}}{2} \quad Q_{\text{сиф}} = 50 \text{ л/с}$$

Рисунок 6.56 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

1.2. Рекомендуемая средняя скорость течения воды

$$V_{\text{сиф.ср}} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad V_{\text{сиф.ср}} = 1.35 \quad \text{м/с}$$

1.3. Диаметр трубы

$$d_{\text{сиф}} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{сиф}}}{V_{\text{сиф.ср}}}} \quad d_{\text{сиф}} = 217.263 \quad \text{мм}$$

1.4. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{\text{сиф.р}} = 235 \quad \text{мм}$

1.5. При расчетном диаметре трубы средняя скорость течения воды составит

$$V_{\text{сиф.р}} = \frac{(1270 \cdot Q_{\text{сиф}})}{d_{\text{сиф.р}}^2} \quad V_{\text{сиф.р}} = 1.15 \quad \text{м/с}$$

2. Определение отметки воды Z_3 в сборном колодце В

2.1. Значение удельного сопротивления для трубопровода

$$A_{\text{ус}}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 \quad \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 \end{array} \right. \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 \quad \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 \quad \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 \quad \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$A_{\text{сиф}} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{сиф.р}}, V_{\text{сиф.р}}) \quad A_{\text{сиф}} = 2.181$$

2.2. Потери напора по длине

$$h_{\text{л.сиф}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{сиф}} \cdot L_{\text{сиф1}_2} \cdot Q_{\text{сиф}}^2 \quad h_{\text{л.сиф}} = 1.527 \quad \text{м}$$

2.3. Местные потери напора

$$h_{\text{м.сиф}} = \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot (\zeta_{\text{с}} + 2 \cdot \zeta_{\text{п}} + \zeta_{\text{вых}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м.сиф}} = 0.276 \quad \text{м}$$

2.4. Суммарные потери напора

$$h_{\text{в.сиф}} = h_{\text{л.сиф}} + h_{\text{м.сиф}} \quad h_{\text{в.сиф}} = 1.803 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.57 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_Г (продолжение)

2.5. Отметка уровня воды в сборном колодце В

$$Z_3 = Z_1 - h_{w, \text{сиф}} \quad Z_3 = 138.197 \quad \text{м}$$

2.6. Отметка оси трубы Z_{22} в наивысшей точке сифона 22

$$h_{1, \text{сиф}1_{22}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{сиф}} \cdot (L_{\text{сиф}1_{2-}} - L_{\text{сиф}_в}) \cdot Q_{\text{сиф}}^2 \quad h_{1, \text{сиф}1_{22}} = 1.483 \quad \text{м}$$

$$h_{\text{м.сиф}1_{22}} = \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot (\zeta_c + 2 \cdot \zeta_{\text{п}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м.сиф}1_{22}} = 0.209 \quad \text{м}$$

$$h_{w, \text{сиф}1_{22}} = h_{1, \text{сиф}1_{22}} + h_{\text{м.сиф}1_{22}} \quad h_{w, \text{сиф}1_{22}} = 1.692 \quad \text{м}$$

$$Z_{22} = Z_1 + H_{\text{вак.сиф}} - h_{w, \text{сиф}1_{22}} - \frac{V_{\text{сиф.р}}^2}{2 \cdot g} \quad Z_{22} = 145.241 \quad \text{м}$$

2.7. Построение пьезометрической и напорной линии на продольном профиле сифона 1-2

Вначале определим абсциссы и ординаты напорной линии

$$L_{\text{сн}0} = 0 \quad H_{\text{сн}0} = Z_1$$

$$L_{\text{сн}1} = L_{\text{сн}0} \quad H_{\text{сн}1} = H_{\text{сн}0} - \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot \zeta_c}{2 \cdot g} - \left(10^{-6} \cdot A_{\text{сиф}} \cdot L_{\text{сиф}_вб} \cdot Q_{\text{сиф}}^2 \right) - \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{п}}}{2 \cdot g}$$

$$L_{\text{сн}2} = L_{\text{сн}1} + (L_{\text{сиф}1_{2-}} - L_{\text{сиф}_в} - L_{\text{сиф}_вб})$$

$$H_{\text{сн}2} = H_{\text{сн}1} - \left[10^{-6} \cdot A_{\text{сиф}} \cdot (L_{\text{сиф}1_{2-}} - L_{\text{сиф}_в} - L_{\text{сиф}_вб}) \cdot Q_{\text{сиф}}^2 \right]$$

$$L_{\text{сн}3} = L_{\text{сн}2} \quad H_{\text{сн}3} = H_{\text{сн}2} - \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{п}}}{2 \cdot g} - \left(10^{-6} \cdot A_{\text{сиф}} \cdot L_{\text{сиф}_в} \cdot Q_{\text{сиф}}^2 \right) - \frac{V_{\text{сиф.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{ввых}}}{2 \cdot g}$$

Определим ординаты пьезометрической линии

$$H_{\text{сп}} = H_{\text{сн}} - \frac{\alpha V_{\text{сиф.р}}^2}{2 \cdot g}$$

Получим численные значения

$$L_{\text{сн}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 270 \\ 270 \end{pmatrix}$$

$$H_{\text{сн}} = \begin{pmatrix} 140 \\ 139.8 \\ 138.328 \\ 138.197 \end{pmatrix}$$

$$H_{\text{сп}} = \begin{pmatrix} 139.933 \\ 139.733 \\ 138.261 \\ 138.13 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.58 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Строим график

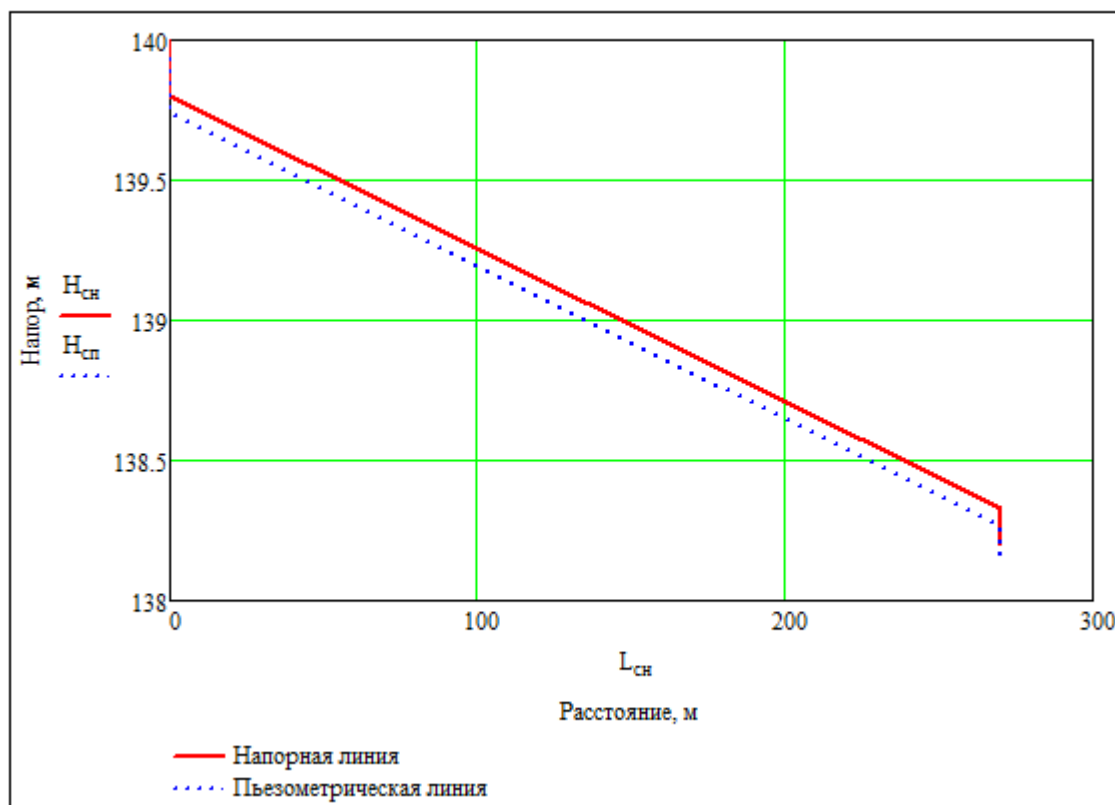


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле сифона

3. Определение диаметра всасывающей линии 5-6

3.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды во всасывающей линии

$$V_{вс.ср} = \frac{(V_3 + V_4)}{2} \quad V_{вс.ср} = 1 \quad \text{м/с}$$

3.2. Диаметр всасывающей трубы

$$d_{вс} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вс.ср}}} \quad d_{вс} = 357 \quad \text{мм}$$

3.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вс.р} = 368 \quad \text{мм}$

3.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вс.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вс.р}^2} \quad V_{вс.р} = 0.938 \quad \text{м/с}$$

4. Определение отметки оси насоса Z_б

4.1. Значение удельного сопротивления для всасывающей трубы

$$A_{вс} = A_{ус}(T, d_{вс.р}, V_{вс.р}) \quad A_{вс} = 0.219$$

Рисунок 6.59 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

4.2. Потери напора по длине всасывающей линии

$$h_{l,вс} = 10^{-6} \cdot A_{вс} \cdot L_{вс} \cdot Q_H^2 \quad h_{l,вс} = 0.11 \quad \text{м}$$

4.3. Местные потери напора во всасывающей линии

$$h_{м,вс} = \frac{V_{вс,р}^2 \cdot (\zeta_{кпл} + N_{кол} \cdot \zeta_{кол})}{2 \cdot g} \quad h_{м,вс} = 0.268 \quad \text{м}$$

4.4. Суммарные потери напора во всасывающей линии

$$h_{w,вс} = h_{l,вс} + h_{м,вс} \quad h_{w,вс} = 0.378 \quad \text{м}$$

4.5. Отметка оси насоса

$$Z_6 = Z_3 + H_{вак,вс} - h_{w,вс} - \frac{(\alpha \cdot V_{вс,р}^2)}{2 \cdot g} \quad Z_6 = 144.774 \quad \text{м}$$

5. Определение напора, развиваемого насосом

5.1. Отметка уровня воды в резервуаре водонапорной башни

$$Z_{рез} = Z_{10} + H_6 + H_{рез} \quad Z_{рез} = 203 \quad \text{м}$$

5.2. Геодезическая высота подъема воды

$$H_T = Z_{рез} - Z_3 \quad H_T = 64.803 \quad \text{м}$$

5.3. При заданном значении $d_{вод7_8} = 350$ мм (условный проход) следует

по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{вод,р7_8} = 322$ мм

При заданном значении $d_{вод8_9} = 300$ мм (условный проход) следует

по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{вод,р8_9} = 279$ мм

При заданном значении $d_{вод8_9} = 200$ мм (условный проход) следует

по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{вод,р8_9} = 189$ мм

При заданном значении $d_{вод9_10} = 300$ мм (условный проход) следует

по **табл.** подобрать расчетное значение диаметра $d_{вод,р9_10} = 279$ мм

5.4. Для участков водовода 7-8 и 9-10

$$V_{вод,р7_8} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вод,р7_8}^2} \quad V_{вод,р7_8} = 1.225 \quad \text{м/с}$$

$$A_{вод7_8} = A_{ус}(T, d_{вод,р7_8}, V_{вод,р7_8}) \quad A_{вод7_8} = 0.422$$

$$h_{w,вод7_8} = 1.1 \times 10^{-6} \cdot A_{вод7_8} \cdot L_{вод7_8} \cdot Q_H^2 \quad h_{w,вод7_8} = 6.492 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.60 – Содержимое документа-шаблона *Mathcad* ГРНТ_Г (продолжение)

$$V_{\text{вод},p9_10} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{\text{вод},p9_10}^2} \quad V_{\text{вод},p9_10} = 1.632 \text{ м/с}$$

$$A_{\text{вод}9_10} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вод},p9_10}, V_{\text{вод},p9_10}) \quad A_{\text{вод}9_10} = 0.853$$

$$h_{\text{w},\text{вод}9_10} = 1.1 \times 10^{-6} \cdot A_{\text{вод}9_10} \cdot L_{\text{вод}9_10} \cdot Q_H^2 \quad h_{\text{w},\text{вод}9_10} = 4.693 \text{ м}$$

5.5. Для участков водовода 8-9 и 8-9

$$V_{\text{вод},p8_9} = 1 \text{ м/с} \quad V_{\text{вод},p8_9} = 1 \text{ м/с}$$

$$A_{\text{вод}8_9} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вод},p8_9}, V_{\text{вод},p8_9}) \quad A_{\text{вод}8_9} = 0.913$$

$$A_{\text{вод}8_9} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вод},p8_9}, V_{\text{вод},p8_9}) \quad A_{\text{вод}8_9} = 6.894$$

$$Q_{8_9} = \frac{Q_H}{\left(1 + \sqrt{\frac{A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9}}{A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9}}}\right)} \quad Q_{8_9} = 25.549 \text{ л/с}$$

$$Q_{8_9} = Q_H - Q_{8_9} \quad Q_{8_9} = 74.451 \text{ л/с}$$

$$V_{\text{вод},p8_9} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_9})}{d_{\text{вод},p8_9}^2} \quad V_{\text{вод},p8_9} = 1.215 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{вод},p8_9} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_9})}{d_{\text{вод},p8_9}^2} \quad V_{\text{вод},p8_9} = 0.908 \text{ м/с}$$

Пересчитываем значения $A_{\text{вод}}$ и Q

$$A_{\text{вод}8_9} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вод},p8_9}, V_{\text{вод},p8_9}) \quad A_{\text{вод}8_9} = 0.888$$

$$A_{\text{вод}8_9} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{вод},p8_9}, V_{\text{вод},p8_9}) \quad A_{\text{вод}8_9} = 6.994$$

$$Q_{8_9} = \frac{Q_H}{\left(1 + \sqrt{\frac{A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9}}{A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9}}}\right)} \quad Q_{8_9} = 25.147 \text{ л/с}$$

$$Q_{8_9} = Q_H - Q_{8_9} \quad Q_{8_9} = 74.853 \text{ л/с}$$

Потери напора на участках водовода 8-9 и 8-9

$$h_{\text{w},\text{вод}8_9} = 1.1 \times 10^{-6} \cdot A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9} \cdot Q_{8_9}^2 \quad h_{\text{w},\text{вод}8_9} = 4.379 \text{ м}$$

$$h_{\text{w},\text{вод}8_9} = 1.1 \times 10^{-6} \cdot A_{\text{вод}8_9} \cdot L_{\text{вод}8_9} \cdot Q_{8_9}^2 \quad h_{\text{w},\text{вод}8_9} = 4.379 \text{ м}$$

5.6. Определение общих потерь напора в водоводе

$$h_{\text{w},\text{вод}} = h_{\text{w},\text{вод}7_8} + h_{\text{w},\text{вод}8_9} + h_{\text{w},\text{вод}9_10} \quad h_{\text{w},\text{вод}} = 15.563 \text{ м}$$

Рисунок 6.61 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

5.7. Построение пьезометрической линии на профиле водовода

Вначале определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$\begin{aligned}
 L_{вп_0} &= 0 & H_{вп_0} &= Z_3 + H_T + h_{w.вод} \\
 L_{вп_1} &= L_{вп_0} + L_{вод7_8} & H_{вп_1} &= H_{вп_0} - h_{w.вод7_8} \\
 L_{вп_2} &= L_{вп_1} + L_{вод8_9} & H_{вп_2} &= H_{вп_1} - h_{w.вод8_9} \\
 L_{вп_3} &= L_{вп_2} + L_{вод9_10} & H_{вп_3} &= H_{вп_2} - h_{w.вод9_10}
 \end{aligned}$$

Получим численные значения координат

$$L_{вп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.4 \times 10^3 \\ 2.2 \times 10^3 \\ 2.7 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{вп} = \begin{pmatrix} 218.563 \\ 212.071 \\ 207.693 \\ 203 \end{pmatrix}$$

Строим график

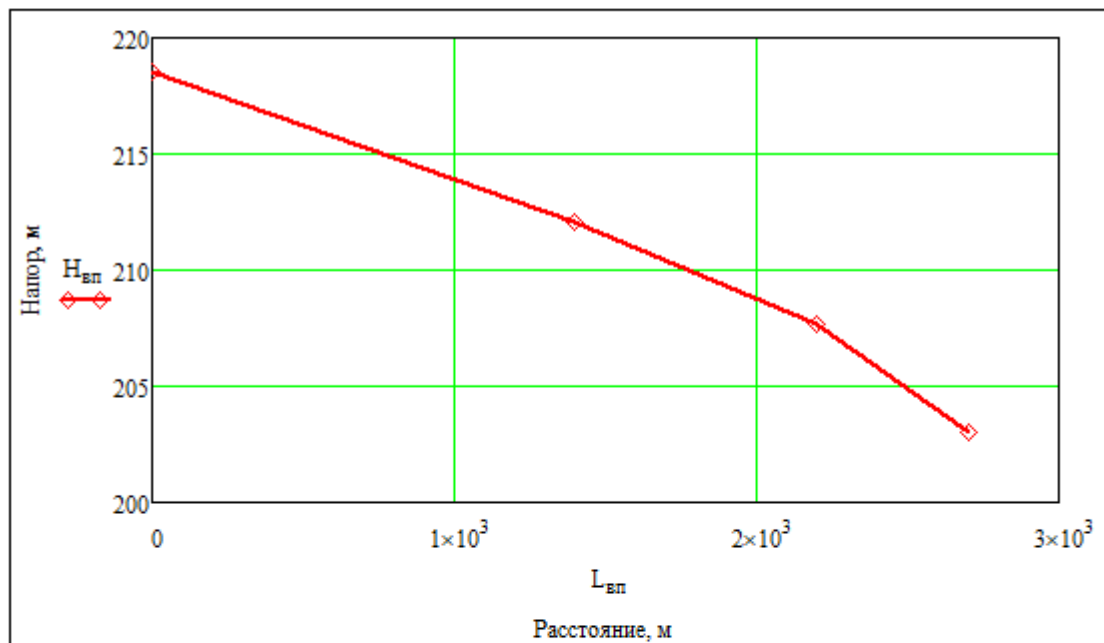


Рис.2. Пьезометрическая линия на продольном профиле водовода

5.8. Напор, развиваемый насосом

$$H_N = H_T + h_{w.вс} + h_{w.вод} \quad H_N = 80.744 \text{ м}$$

6. Мощность на валу насоса

$$N_3 = \frac{(\gamma \cdot Q_N \cdot H_N)}{102 \cdot \eta} \quad N_3 = 113.087 \text{ кВт}$$

Рисунок 6.62 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

7. Расчет разводящей сети

7.1. Расходы воды на участках сети

$$Q_{11_12} = Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} \quad Q_{11_12} = 170 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{12_13} = Q_{13} \quad Q_{12_13} = 45 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{12_14} = Q_{14} \quad Q_{12_14} = 55 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{12_15} = Q_{15} \quad Q_{12_15} = 30 \quad \text{л/с}$$

7.2. Напор пьезометрический в начале магистрали

$$H_{\text{п.нач}} = Z_{10} + H_6 \quad H_{\text{п.нач}} = 200 \quad \text{м}$$

7.3. Средний гидравлический уклон для направлений движения воды до наиболее удаленных точек водопотребления

$$\text{Участок 11-12-13} \quad i_{\text{ср11_13}} = \frac{[H_{\text{п.нач}} - (Z_{13} + H_{\text{св.min.13}})]}{L_{11_12} + L_{12_13}} \quad i_{\text{ср11_13}} = 0.0313725$$

$$\text{Участок 11-12-14} \quad i_{\text{ср11_14}} = \frac{[H_{\text{п.нач}} - (Z_{14} + H_{\text{св.min.14}})]}{L_{11_12} + L_{12_14}} \quad i_{\text{ср11_14}} = 0.0387755$$

$$\text{Участок 11-12-15} \quad i_{\text{ср11_15}} = \frac{[H_{\text{п.нач}} - (Z_{15} + H_{\text{св.min.15}})]}{L_{11_12} + L_{12_15}} \quad i_{\text{ср11_15}} = 0.0321429$$

7.4. По наименьшему среднему гидравлическому уклону находим магистральное направление

$$i_{\text{ср.min}} = 0.0313725$$

Если

Магистральным будет направление 11-12-13

7.5. Расчет магистрального направления

7.5.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср11_12}} = \frac{i_{\text{ср11_13}}}{Q_{11_12}^2} \quad A_{\text{ср11_12}} = 0.0000010856$$

$$A_{\text{ср12_13}} = \frac{i_{\text{ср11_13}}}{Q_{12_13}^2} \quad A_{\text{ср12_13}} = 0.0000154926$$

7.5.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Рисунок 6.63 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Участок 11-12

$$d_{\text{тр}}(t, A_{\text{сп}}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{\text{сп}}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{\text{сп}}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{\text{сп}}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{\text{сп}}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{11_12} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{сп}11_12}) \quad d_{11_12} = 0.27 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{11_12.p} = 279$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{11_12.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{11_12})}{d_{11_12.p}^2} \quad V_{11_12.p} = 2.774 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{11_12} = A_{\text{ус}}(T, d_{11_12.p}, V_{11_12.p}) \quad A_{11_12} = 0.801$$

Участок 12-13

$$d_{12_13} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{сп}12_13}) \quad d_{12_13} = 0.162 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12_13.p} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12_13.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12_13})}{d_{12_13.p}^2} \quad V_{12_13.p} = 1.6 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_13} = A_{\text{ус}}(T, d_{12_13.p}, V_{12_13.p}) \quad A_{12_13} = 6.457$$

7.5.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{\text{в.}11_12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{11_12} \cdot L_{11_12} \cdot Q_{11_12}^2 \quad h_{\text{в.}11_12} = 5.859 \quad \text{м}$$

$$h_{\text{в.}12_13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_13} \cdot L_{12_13} \cdot Q_{12_13}^2 \quad h_{\text{в.}12_13} = 4.027 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.64 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

7.5.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w, \text{сум}} = h_{w, 11_12} + h_{w, 12_13} \quad h_{w, \text{сум}} = 9.887 \quad \text{м}$$

7.5.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.3.)

$$h_{w, \text{сум}} = 9.887 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_{13} + H_{\text{св. min. 13}}) = 16$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.7.5.2.) и произвести пересчет п.7.5.3. и п.7.5.4.

7.5.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п. 11}} = H_{\text{п. нач}} \quad H_{\text{п. 11}} = 200 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п. 12}} = H_{\text{п. нач}} - h_{w, 11_12} \quad H_{\text{п. 12}} = 194.141 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п. 13}} = H_{\text{п. нач}} - h_{w, 11_12} - h_{w, 12_13} \quad H_{\text{п. 13}} = 190.113 \quad \text{м}$$

7.5.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{св. 12}} = H_{\text{п. 12}} - Z_{12} \quad H_{\text{св. 12}} = 19.141 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св. 13}} = H_{\text{п. 13}} - Z_{13} \quad H_{\text{св. 13}} = 16.113 \quad \text{м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величин требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{\text{св. min. 12}} = 12 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{св. min. 13}} = 10 \quad \text{м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

7.6. Расчет ответвлений от магистрали

7.6.1. Средний гидравлический уклон для участка-ответвления

$$i_{\text{ср12_14}} = \frac{H_{\text{п. 12}} - (Z_{14} + H_{\text{св. min. 14}})}{L_{12_14}} \quad i_{\text{ср12_14}} = 0.0505407$$

$$i_{\text{ср12_15}} = \frac{H_{\text{п. 12}} - (Z_{15} + H_{\text{св. min. 15}})}{L_{12_15}} \quad i_{\text{ср12_15}} = 0.0367896$$

7.6.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср12_14}} = \frac{i_{\text{ср12_14}}}{Q_{12_14}^2} \quad A_{\text{ср12_14}} = 0.0000167077$$

$$A_{\text{ср12_15}} = \frac{i_{\text{ср12_15}}}{Q_{12_15}^2} \quad A_{\text{ср12_15}} = 0.0000408773$$

7.6.3. Диаметр труб и средняя скорость для ответвления

Участок 12-14

$$d_{12_14} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср12_14}}) \quad d_{12_14} = 0.159 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.65 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12_14.p} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12_14.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12_14})}{d_{12_14.p}^2} \quad V_{12_14.p} = 1.955 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_14} = A_{yc}(T, d_{12_14.p}, V_{12_14.p}) \quad A_{12_14} = 6.295$$

Участок 12-15

$$d_{12_15} = d_{tp}(T, A_{cp12_15}) \quad d_{12_15} = 0.134 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12_15.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12_15.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12_15})}{d_{12_15.p}^2} \quad V_{12_15.p} = 1.916 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_15} = A_{yc}(T, d_{12_15.p}, V_{12_15.p}) \quad A_{12_15} = 28.872$$

7.6.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{w.12_14} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_14} \cdot L_{12_14} \cdot Q_{12_14}^2 \quad h_{w.12_14} = 5.446 \text{ м}$$

$$h_{w.12_15} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_15} \cdot L_{12_15} \cdot Q_{12_15}^2 \quad h_{w.12_15} = 9.433 \text{ м}$$

7.6.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.6.1.)

$$h_{w.12_14} = 5.446 \leq H_{п.12} - (Z_{14} + H_{св.min.14}) = 13.141$$

$$h_{w.12_15} = 9.433 \leq H_{п.12} - (Z_{15} + H_{св.min.15}) = 12.141$$

Если какое-либо условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб данного участка (см. п.7.6.3.) и произвести пересчет

7.6.6. Пьезометрический напор в узлах

$$H_{п.14} = H_{п.12} - h_{w.12_14} \quad H_{п.14} = 188.694 \text{ м}$$

$$H_{п.15} = H_{п.12} - h_{w.12_15} \quad H_{п.15} = 184.708 \text{ м}$$

7.6.7. Свободный напор в узлах

$$H_{св.14} = H_{п.14} - Z_{14} \quad H_{св.14} = 15.694 \text{ м}$$

$$H_{св.15} = H_{п.15} - Z_{15} \quad H_{св.15} = 12.708 \text{ м}$$

Рисунок 6.66 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{св.min.14} = 8 \text{ м}$$

$$H_{св.min.15} = 10 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб какого-либо участка и произвести перерасчет.

7.7. Построение пьезометрической линии на продольном профиле направления 11-12-13 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{11_12} \\ L_{11_12} + L_{12_13} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.12} \\ H_{п.13} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 230 \\ 510 \end{pmatrix}$$

$$H_{рп} = \begin{pmatrix} 200 \\ 194.141 \\ 190.113 \end{pmatrix}$$

Строим график

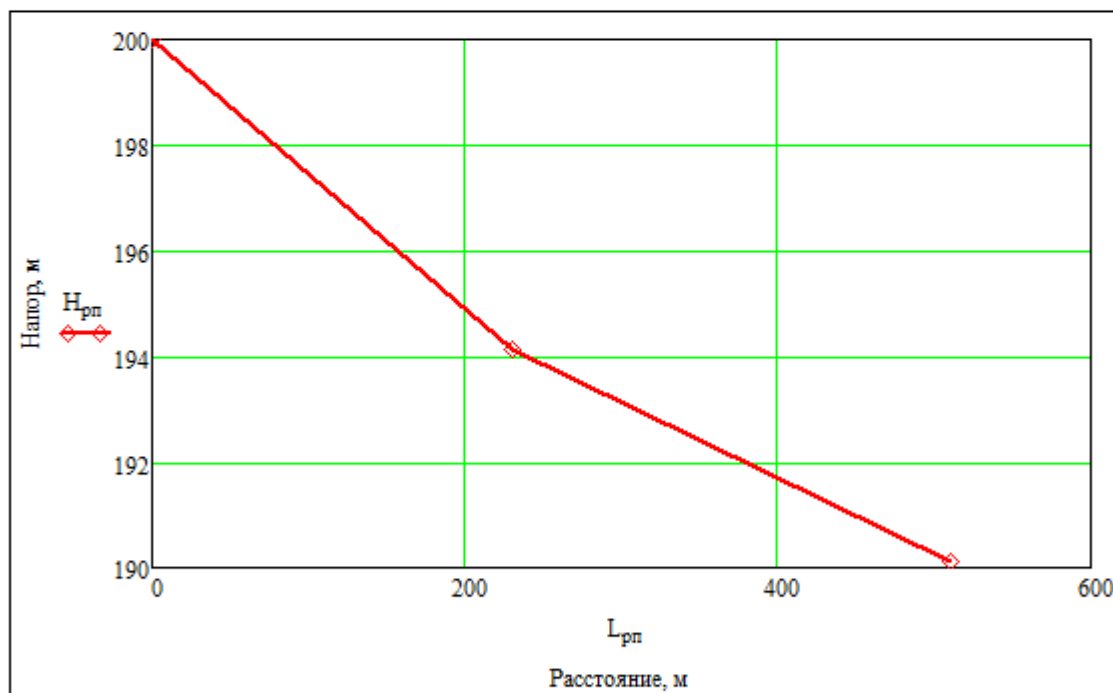


Рис.3. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 11-12-13

Если

Магистральным будет направление 11-12-14

7.5. Расчет магистрального направления

7.5.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

Рисунок 6.67 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

$$A_{cp11,12} = \frac{i_{cp11,14}}{Q_{11,12}^2} \quad A_{cp11,12} = 0.0000013417$$

$$A_{cp12,14} = \frac{i_{cp11,14}}{Q_{12,14}^2} \quad A_{cp12,14} = 0.0000128184$$

7.5.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Участок 11-12

$$d_{тр}(t, A_{cp}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{11,12} = d_{тр}(T, A_{cp11,12}) \quad d_{11,12} = 0.259 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{11,12,p} = 279 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{11,12,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{11,12})}{d_{11,12,p}^2} \quad V_{11,12,p} = 2.774 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{11,12} = A_{yc}(T, d_{11,12,p}, V_{11,12,p}) \quad A_{11,12} = 0.801$$

Участок 12-14

$$d_{12,14} = d_{тр}(T, A_{cp12,14}) \quad d_{12,14} = 0.168 \text{ м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12,14,p} = 189 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12,14,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12,14})}{d_{12,14,p}^2} \quad V_{12,14,p} = 1.955 \text{ м/с}$$

Рисунок 6.68 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12,14} = A_{yc}(T, d_{12,14.p}, V_{12,14.p}) \quad A_{12,14} = 6.295$$

7.5.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w,11,12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{11,12} \cdot L_{11,12} \cdot Q_{11,12}^2 \quad h_{w,11,12} = 5.859 \text{ м}$$

$$h_{w,12,14} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12,14} \cdot L_{12,14} \cdot Q_{12,14}^2 \quad h_{w,12,14} = 5.446 \text{ м}$$

7.5.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,сум} = h_{w,11,12} + h_{w,12,14} \quad h_{w,сум} = 11.306 \text{ м}$$

7.5.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.3.)

$$h_{w,сум} = 11.306 \leq H_{п.нач} - (Z_{14} + H_{св.min.14}) = 19$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.7.5.2.) и произвести пересчет п.7.5.3. и п.7.5.4.

7.5.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{п,11} = H_{п.нач} \quad H_{п,11} = 200 \text{ м}$$

$$H_{п,12} = H_{п.нач} - h_{w,11,12} \quad H_{п,12} = 194.141 \text{ м}$$

$$H_{п,14} = H_{п.нач} - h_{w,11,12} - h_{w,12,14} \quad H_{п,14} = 188.694 \text{ м}$$

7.5.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{св,12} = H_{п,12} - Z_{12} \quad H_{св,12} = 19.141 \text{ м}$$

$$H_{св,14} = H_{п,14} - Z_{14} \quad H_{св,14} = 15.694 \text{ м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{св.min.12} = 12 \text{ м}$$

$$H_{св.min.14} = 8 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

7.6. Расчет ответвлений от магистрали

7.6.1. Средний гидравлический уклон для участка-ответвления

$$i_{ср12,13} = \frac{H_{п,12} - (Z_{13} + H_{св.min.13})}{L_{12,13}} \quad i_{ср12,13} = 0.0362163$$

$$i_{ср12,15} = \frac{H_{п,12} - (Z_{15} + H_{св.min.15})}{L_{12,15}} \quad i_{ср12,15} = 0.0367896$$

7.6.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{ср12,13} = \frac{i_{ср12,13}}{Q_{12,13}^2} \quad A_{ср12,13} = 0.0000178846$$

$$A_{ср12,15} = \frac{i_{ср12,15}}{Q_{12,15}^2} \quad A_{ср12,15} = 0.0000408773$$

Рисунок 6.69 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

7.6.3. Диаметр труб и средняя скорость для ответвления

Участок 12-13

$$d_{12,13} = d_{тр}(T, A_{ср12,13}) \quad d_{12,13} = 0.157 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12,13,р} = 189$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12,13,р} = \frac{(1270 \cdot Q_{12,13})}{d_{12,13,р}^2} \quad V_{12,13,р} = 1.6 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12,13} = A_{усл}(T, d_{12,13,р}, V_{12,13,р}) \quad A_{12,13} = 6.457$$

Участок 12-15

$$d_{12,15} = d_{тр}(T, A_{ср12,15}) \quad d_{12,15} = 0.134 \quad \text{м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12,15,р} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12,15,р} = \frac{(1270 \cdot Q_{12,15})}{d_{12,15,р}^2} \quad V_{12,15,р} = 1.916 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12,15} = A_{усл}(T, d_{12,15,р}, V_{12,15,р}) \quad A_{12,15} = 28.872$$

7.6.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{w,12,13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12,13} \cdot L_{12,13} \cdot Q_{12,13}^2 \quad h_{w,12,13} = 4.027 \quad \text{м}$$

$$h_{w,12,15} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12,15} \cdot L_{12,15} \cdot Q_{12,15}^2 \quad h_{w,12,15} = 9.433 \quad \text{м}$$

7.6.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.6.1.)

$$h_{w,12,13} = 4.027 \leq H_{п.12} - (Z_{13} + H_{св.min.13}) = 10.141$$

$$h_{w,12,15} = 9.433 \leq H_{п.12} - (Z_{15} + H_{св.min.15}) = 12.141$$

Если какое-либо условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб данного участка (см. п.7.6.3.) и произвести пересчет

7.6.6. Пьезометрический напор в узлах

$$H_{п.13} = H_{п.12} - h_{w,12,13} \quad H_{п.13} = 190.113 \quad \text{м}$$

$$H_{п.15} = H_{п.12} - h_{w,12,15} \quad H_{п.15} = 184.708 \quad \text{м}$$

7.6.7. Свободный напор в узлах

$$H_{св.13} = H_{п.13} - Z_{13} \quad H_{св.13} = 16.113 \quad \text{м}$$

$$H_{св.15} = H_{п.15} - Z_{15} \quad H_{св.15} = 12.708 \quad \text{м}$$

Рисунок 6.70 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{св.мин.13} = 10 \text{ м}$$

$$H_{св.мин.15} = 10 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб какого-либо участка и произвести перерасчет.

7.7. Построение пьезометрической линии на продольном профиле направления 11-12-14 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{11_12} \\ L_{11_12} + L_{12_14} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.12} \\ H_{п.14} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 230 \\ 490 \end{pmatrix}$$

$$H_{рп} = \begin{pmatrix} 200 \\ 194.141 \\ 188.694 \end{pmatrix}$$

Строим график

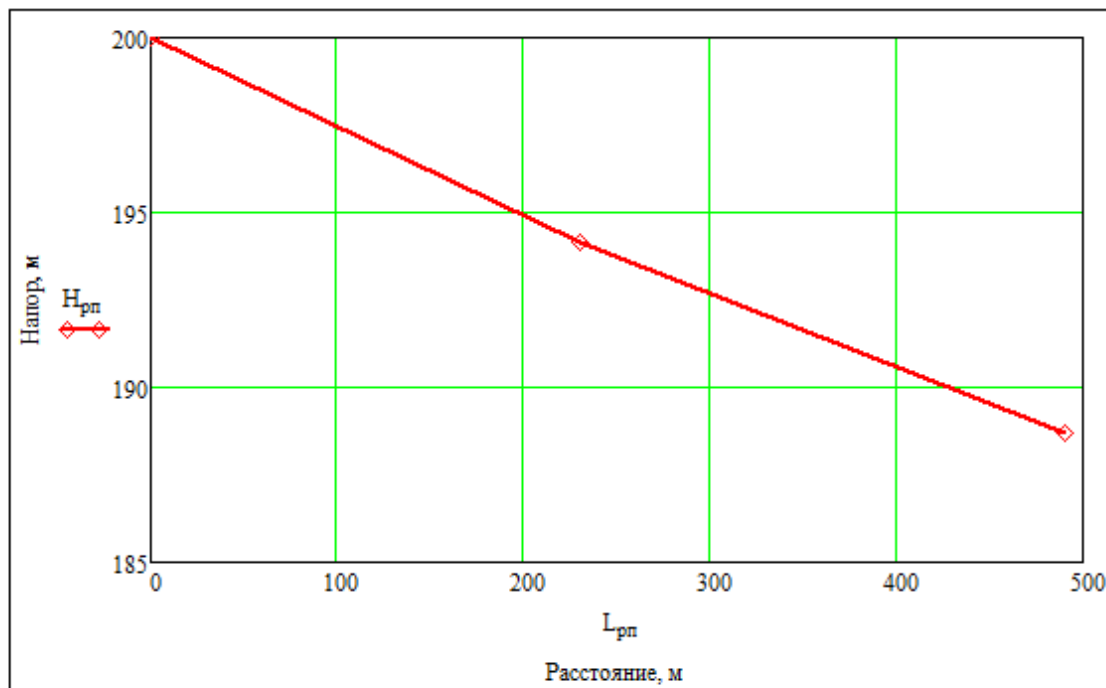


Рис.3. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 11-12-14

Если

Магистральным будет направление 11-12-15

7.5. Расчет магистрального направления

7.5.1. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

Рисунок 6.71 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

$$A_{cp11,12} = \frac{i_{cp11,15}}{Q_{11,12}^2} \quad A_{cp11,12} = 0.0000011122$$

$$A_{cp12,15} = \frac{i_{cp11,15}}{Q_{12,15}^2} \quad A_{cp12,15} = 0.0000357143$$

7.5.2. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

Участок 11-12

$$d_{tp}(t, A_{cp}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{cp}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{11,12} = d_{tp}(T, A_{cp11,12}) \quad d_{11,12} = 0.269 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{11,12,p} = 279 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{11,12,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{11,12})}{d_{11,12,p}^2} \quad V_{11,12,p} = 2.774 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{11,12} = A_{ус}(T, d_{11,12,p}, V_{11,12,p}) \quad A_{11,12} = 0.801$$

Участок 12-15

$$d_{12,15} = d_{tp}(T, A_{cp12,15}) \quad d_{12,15} = 0.138 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12,15,p} = 141 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12,15,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12,15})}{d_{12,15,p}^2} \quad V_{12,15,p} = 1.916 \text{ м/с}$$

Рисунок 6.72 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_15} = A_{\text{ус}}(T, d_{12_15.p}, V_{12_15.p}) \quad A_{12_15} = 28.872$$

7.5.3. Потери напора на всех участках магистрального направления

$$h_{w.11_12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{11_12} \cdot L_{11_12} \cdot Q_{11_12}^2 \quad h_{w.11_12} = 5.859 \text{ м}$$

$$h_{w.12_15} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_15} \cdot L_{12_15} \cdot Q_{12_15}^2 \quad h_{w.12_15} = 9.433 \text{ м}$$

7.5.4. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w.\text{сум}} = h_{w.11_12} + h_{w.12_15} \quad h_{w.\text{сум}} = 15.292 \text{ м}$$

7.5.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.3.)

$$h_{w.\text{сум}} = 15.292 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_{15} + H_{\text{св.min.15}}) = 18$$

Если условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб какого-либо участка (см. п.7.5.2.) и произвести пересчет п.7.5.3. и п.7.5.4.

7.5.6. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п.11}} = H_{\text{п.нач}} \quad H_{\text{п.11}} = 200 \text{ м}$$

$$H_{\text{п.12}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w.11_12} \quad H_{\text{п.12}} = 194.141 \text{ м}$$

$$H_{\text{п.15}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w.11_12} - h_{w.12_15} \quad H_{\text{п.15}} = 184.708 \text{ м}$$

7.5.7. Свободный напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{св.12}} = H_{\text{п.12}} - Z_{12} \quad H_{\text{св.12}} = 19.141 \text{ м}$$

$$H_{\text{св.15}} = H_{\text{п.15}} - Z_{15} \quad H_{\text{св.15}} = 12.708 \text{ м}$$

Величины свободных напоров не должны быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.min.12}} = 12 \text{ м}$

$$H_{\text{св.min.15}} = 10 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр трубы на данном участке и произвести перерасчет.

7.6. Расчет ответвлений от магистрали

7.6.1. Средний гидравлический уклон для участка-ответвления

$$i_{\text{сп12_13}} = \frac{H_{\text{п.12}} - (Z_{13} + H_{\text{св.min.13}})}{L_{12_13}} \quad i_{\text{сп12_13}} = 0.0362163$$

$$i_{\text{сп12_14}} = \frac{H_{\text{п.12}} - (Z_{14} + H_{\text{св.min.14}})}{L_{12_14}} \quad i_{\text{сп12_14}} = 0.0505407$$

7.6.2. Среднее удельное сопротивление для участка-ответвления (для Q в л/с)

$$A_{\text{сп12_13}} = \frac{i_{\text{сп12_13}}}{Q_{12_13}^2} \quad A_{\text{сп12_13}} = 0.0000178846$$

$$A_{\text{сп12_14}} = \frac{i_{\text{сп12_14}}}{Q_{12_14}^2} \quad A_{\text{сп12_14}} = 0.0000167077$$

Рисунок 6.73 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

7.6.3. Диаметр труб и средняя скорость для ответвления

Участок 12-13

$$d_{12_13} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}12_13}) \quad d_{12_13} = 0.157 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12_13.p} = 189 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12_13.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12_13})}{d_{12_13.p}^2} \quad V_{12_13.p} = 1.6 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_13} = A_{\text{ус}}(T, d_{12_13.p}, V_{12_13.p}) \quad A_{12_13} = 6.457$$

Участок 12-14

$$d_{12_14} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}12_14}) \quad d_{12_14} = 0.159 \text{ м}$$

Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{12_14.p} = 189 \text{ мм}$

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{12_14.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{12_14})}{d_{12_14.p}^2} \quad V_{12_14.p} = 1.955 \text{ м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{12_14} = A_{\text{ус}}(T, d_{12_14.p}, V_{12_14.p}) \quad A_{12_14} = 6.295$$

7.6.4. Потери напора на участке ответвления

$$h_{\text{в.}12_13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_13} \cdot L_{12_13} \cdot Q_{12_13}^2 \quad h_{\text{в.}12_13} = 4.027 \text{ м}$$

$$h_{\text{в.}12_14} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{12_14} \cdot L_{12_14} \cdot Q_{12_14}^2 \quad h_{\text{в.}12_14} = 5.446 \text{ м}$$

7.6.5. Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона (см. п.7.6.1.)

$$h_{\text{в.}12_13} = 4.027 \leq H_{\text{п.}12} - (Z_{13} + H_{\text{св.} \text{min.}13}) = 10.141$$

$$h_{\text{в.}12_14} = 5.446 \leq H_{\text{п.}12} - (Z_{14} + H_{\text{св.} \text{min.}14}) = 13.141$$

Если какое-либо условие не выполняется, надо увеличить диаметр труб данного участка (см. п.7.6.3.) и произвести пересчет

7.6.6. Пьезометрический напор в узлах

$$H_{\text{п.}13} = H_{\text{п.}12} - h_{\text{в.}12_13} \quad H_{\text{п.}13} = 190.113 \text{ м}$$

$$H_{\text{п.}14} = H_{\text{п.}12} - h_{\text{в.}12_14} \quad H_{\text{п.}14} = 188.694 \text{ м}$$

7.6.7. Свободный напор в узлах

$$H_{\text{св.}13} = H_{\text{п.}13} - Z_{13} \quad H_{\text{св.}13} = 16.113 \text{ м}$$

$$H_{\text{св.}14} = H_{\text{п.}14} - Z_{14} \quad H_{\text{св.}14} = 15.694 \text{ м}$$

Рисунок 6.74 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (продолжение)

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{\text{св. min.13}} = 10 \text{ м}$$

$$H_{\text{св. min.14}} = 8 \text{ м}$$

В случае невыполнения условия необходимо увеличить расчетный диаметр труб какого-либо участка и произвести перерасчет.

7.7. Построение пьезометрической линии на продольном профиле направления 11-12-15 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{11_12} \\ L_{11_12} + L_{12_15} \end{pmatrix} \quad H_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} H_{\text{п.нач}} \\ H_{\text{п.12}} \\ H_{\text{п.15}} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 230 \\ 560 \end{pmatrix}$$

$$H_{\text{рп}} = \begin{pmatrix} 200 \\ 194.141 \\ 184.708 \end{pmatrix}$$

Строим график

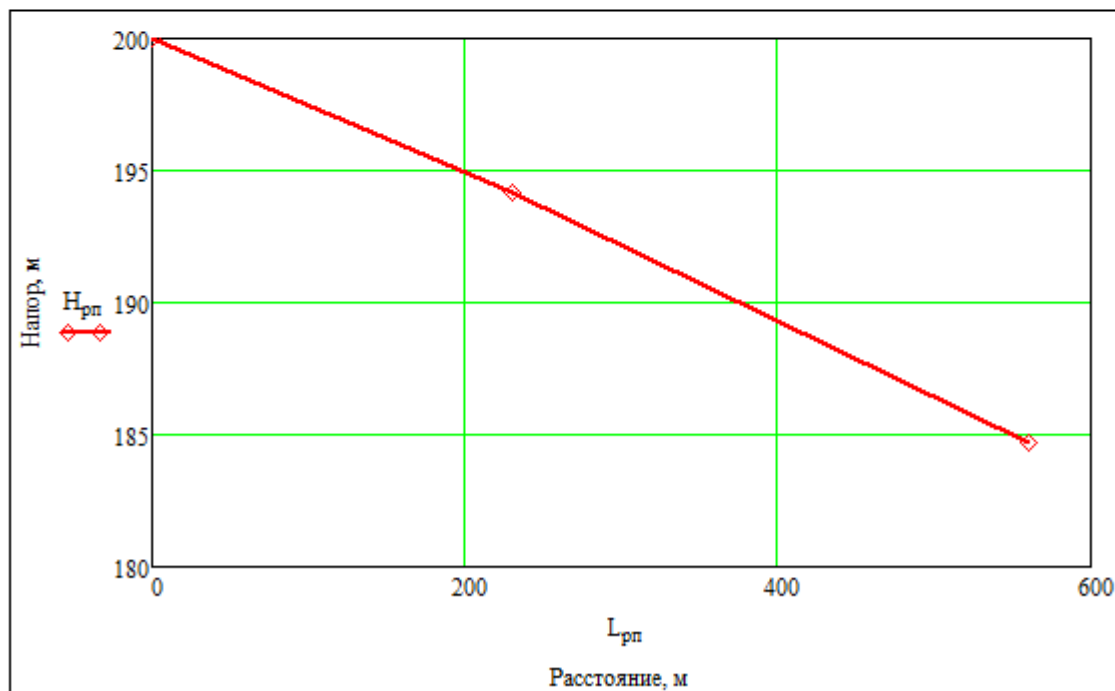


Рис.3. Пьезометрическая линия на продольном профиле магистрального направления 11-12-15

Рисунок 6.75 – Содержимое документа-шаблона Mathcad ГРНТ_Г (окончание)

При наличии у пользователя большого монитора возможен вариант одновременного открытия двух документов: редактируемого документа Mathcad и справочного документа Tabl.docx, как это показано на рисунке 6.76.

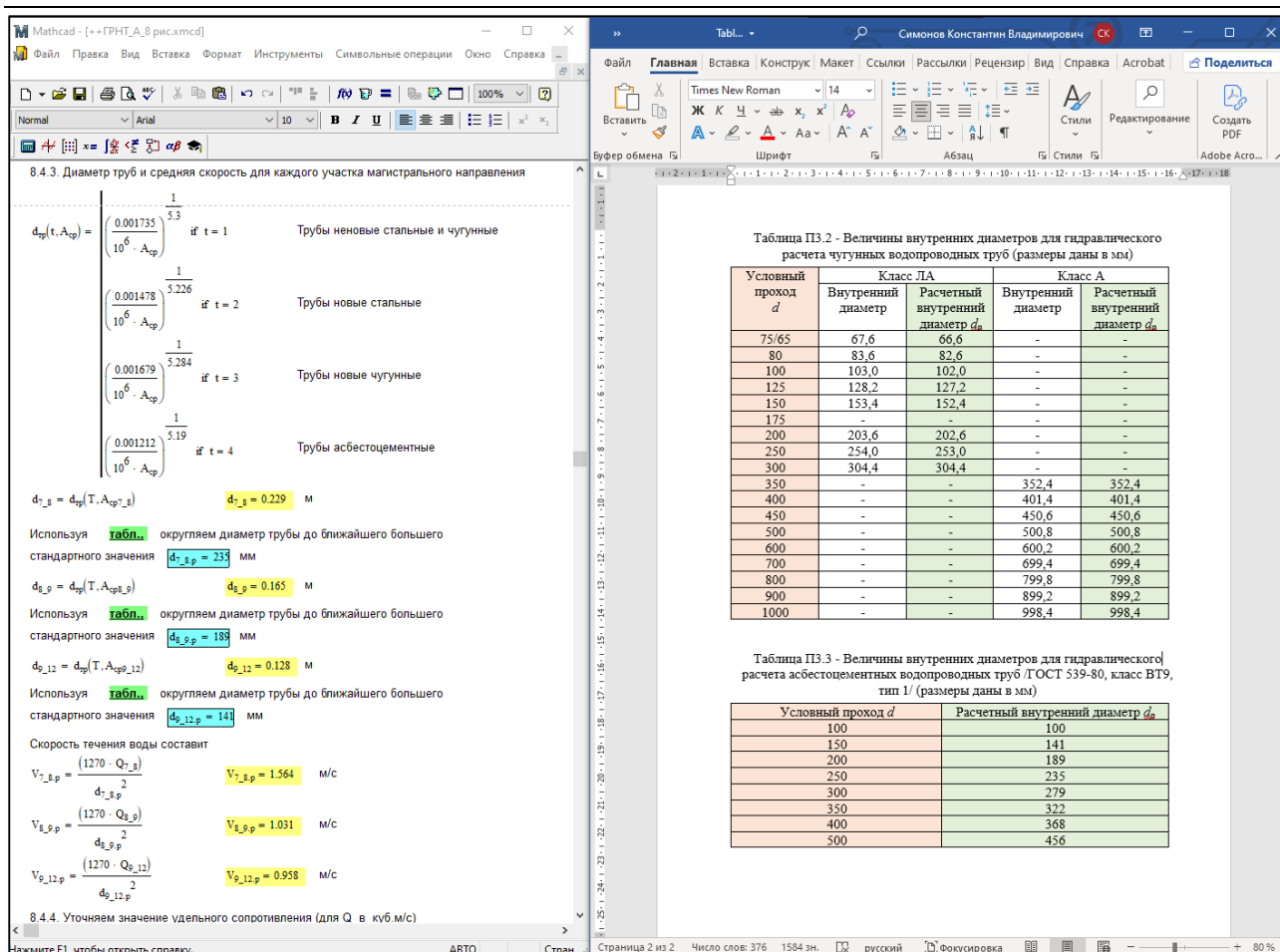


Рисунок 6.76 – Вариант одновременного открытия редактируемого документа *Mathcad* и справочного документа *Tabl.docx*

Документ *Mathcad* помимо обычных формул, по которым определяются численные значения параметров, содержит блоки с элементами программирования. Так используется оператор условного перехода *if* для выбора наименьшего гидравлического уклона (рисунок 6.77). Конструкция оператора *if* имеет вид

$$if(\text{Условие}, \text{Выражение1}, \text{Выражение2})$$

Если в этой функции условие выполняется, то будет вычисляться *Выражение1*, в противном случае – *Выражение2*. В приведенном на рисунке 6.77 примере это означает, что в случае, если выполняется условие $i_{cp7,12} < i_{cp7,13}$, то параметру $i_{cp_{min}}$ присваивается значение $i_{cp7,12}$, в противном случае – $i_{cp7,13}$.

При расчете удельного сопротивления труб A_{yc} запрограммировано применение трех формул для новых стальных, новых чугунных и асбестоцементных труб и двух формул для неновых стальных и чугунных труб при различных скоростях движения воды (рисунок 6.78). Использование той или иной формулы в программном модуле ставится в соответствие с величиной параметра t и скоростью V для неновых стальных и чугунных труб. Схожий по структуре программный модуль используется для определения диаметра труб участка магистрального направления, см. рисунок 6.20.

8.2. Средний гидравлический уклон для возможных направлений движения воды до точек водопотребления

$$\text{Участок 7-8-9-12} \quad i_{cp7_12} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{12} + H_{св.min.12})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_12}} \quad i_{cp7_12} = 0.0116667$$

$$\text{Участок 7-8-9-13} \quad i_{cp7_13} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{13} + H_{св.min.13})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_13}} \quad i_{cp7_13} = 0.0117647$$

8.3. По наименьшему среднему гидравлическому уклону

$$i_{cp.min} = \text{if}(i_{cp7_12} < i_{cp7_13}, i_{cp7_12}, i_{cp7_13}) \quad i_{cp.min} = 0.0116667$$

находим магистральное направление

Если

Магистральным будет направление 7-8-9-12

8.4. Расчет магистрального направления

Рисунок 6.77 – Пример использования оператора *if* для выбора наименьшего гидравлического уклона

2. Определение отметки поверхности воды Z_2 в колодце Б

2.1. Значение удельного сопротивления для трубы

$$A_{yc}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 \quad \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 \end{array} \right. & \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 \quad \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 \quad \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 \quad \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$A_{сам} = A_{yc}(T, d_{сам.p}, V_{сам.p}) \quad A_{сам} = 2.254$$

2.2. Потери напора по длине трубопровода

Рисунок 6.78 – Пример использования программного модуля для расчета удельного сопротивления труб A_{yc}

Важной особенностью исходных документов-шаблонов заданий А, Б и В является то, что каждый из них содержит последовательности расчетов под два возможных направления магистрального хода. Эти две последовательности для удобства разделены двойной линией на красном фоне и словом «Если» (рисунок 6.77). В ходе расчета выбирается магистральное направление, и та часть расчетов, которая относится к этому направлению, даст правильные результаты и должна быть оставлена. Последовательность расчетов по другому направлению дает заведомо неверные решения и должна быть удалена. Для этого необходимо выделить мышью все блоки ошибочной части документа (а это несколько страниц), (рисунок 6.79), и нажать клавишу *Del*. Полученное пустое пространство следует «убрать», для чего следует действовать по описанной ранее процедуре.

Для задания Г предусмотрены три возможных варианта направления магистрального хода. При редактировании этого документа-шаблона должна быть оставлена та часть расчетов, которая относится к выбранному магистральному ходу, а две неверных последовательности расчетов удалены.

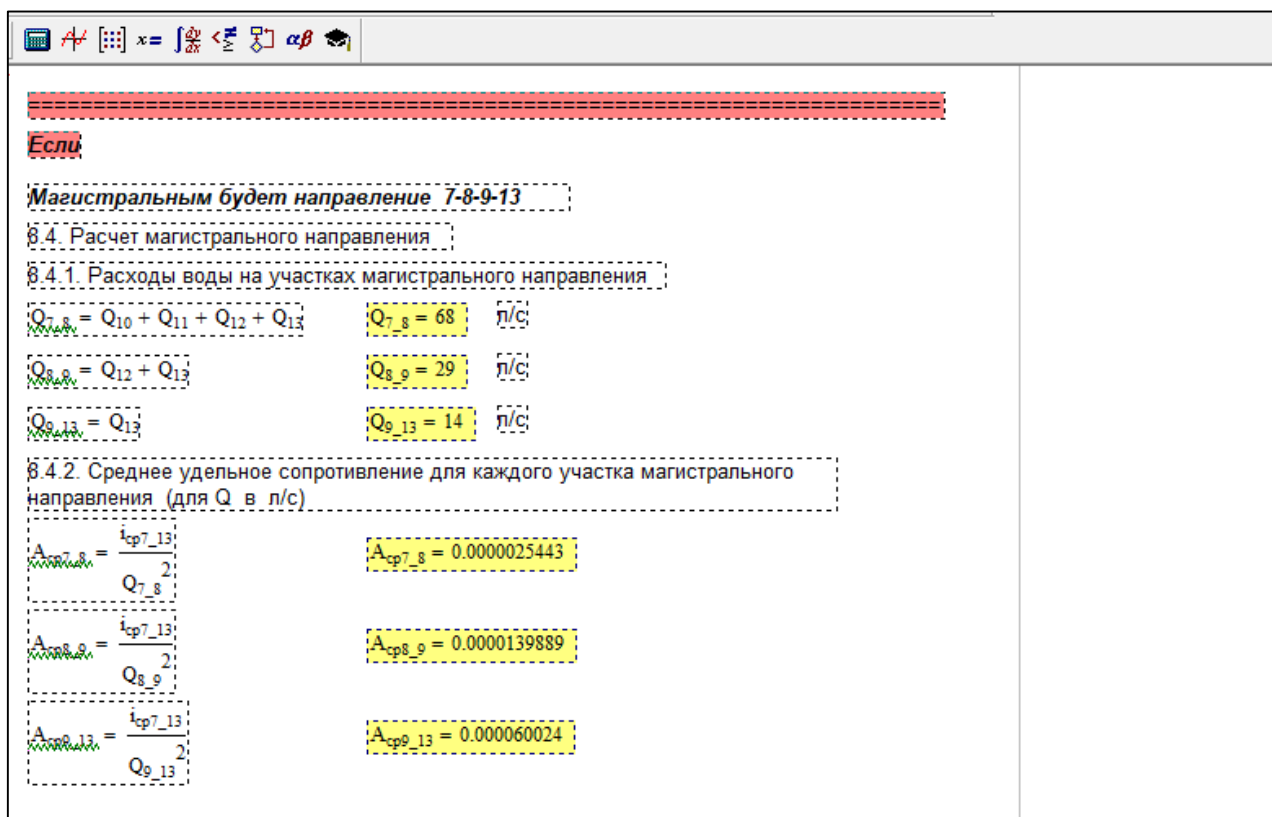


Рисунок 6.79 – Выделение части документа для его последующего удаления

После того как документ будет отредактирован, не забудьте сохранить данный файл на выбранном носителе, а перед запуском его на печать, воспользуйтесь командой *Print Preview* для предварительного просмотра документа. В случае попадания границ страниц на блоки вычисления, вывода результатов или графики следует внести окончательную правку документа, исключая этот момент.

Для тех студентов, которые по каким-то причинам не успевают на занятии распечатать подготовленный документ, система предоставляет возможность сделать это в другом месте, на ЭВМ, где система *Mathcad* не установлена. Первый из возможных вариантов – запись готового документа в формате **.rtf*. Для этого следует в раскрывающемся меню *Файл* выбрать команду *Сохранить как...* и в появившемся диалоговом окне (рисунок 6.80) в раскрывающемся списке поля *Тип файла* указать формат записи *Rich Text Format File (*.rtf)*, если открытие и печать файла планируется в текстовом редакторе *MS Word*. Второй из возможных вариантов потребует от пользователя дополнительных затрат времени.

Необходимо с помощью мыши выделить все блоки первой страницы подготовленного в *Mathcad* документа и скопировать их в буфер обмена. Далее открыв *MS Word* вставить из буфера обмена его содержимое, используя при этом последовательность действий: *Вставить–Специальная вставка–Точечный рисунок*. Далее следует возврат в *Mathcad* с выделением и помещением в буфер обмена второй страницы. Вновь переключаемся на текстовый редактор и вставляем содержимое второй страницы в документ *MS Word* и так далее. После того как документ *Mathcad* будет фрагментами скопирован в документ *MS Word*, не забудьте его сохранить и только затем запустить документ на печать. Необходимо иметь ввиду, что сформированный таким образом документ *MS Word* будет иметь значительно больший объем, чем файл *Mathcad*.

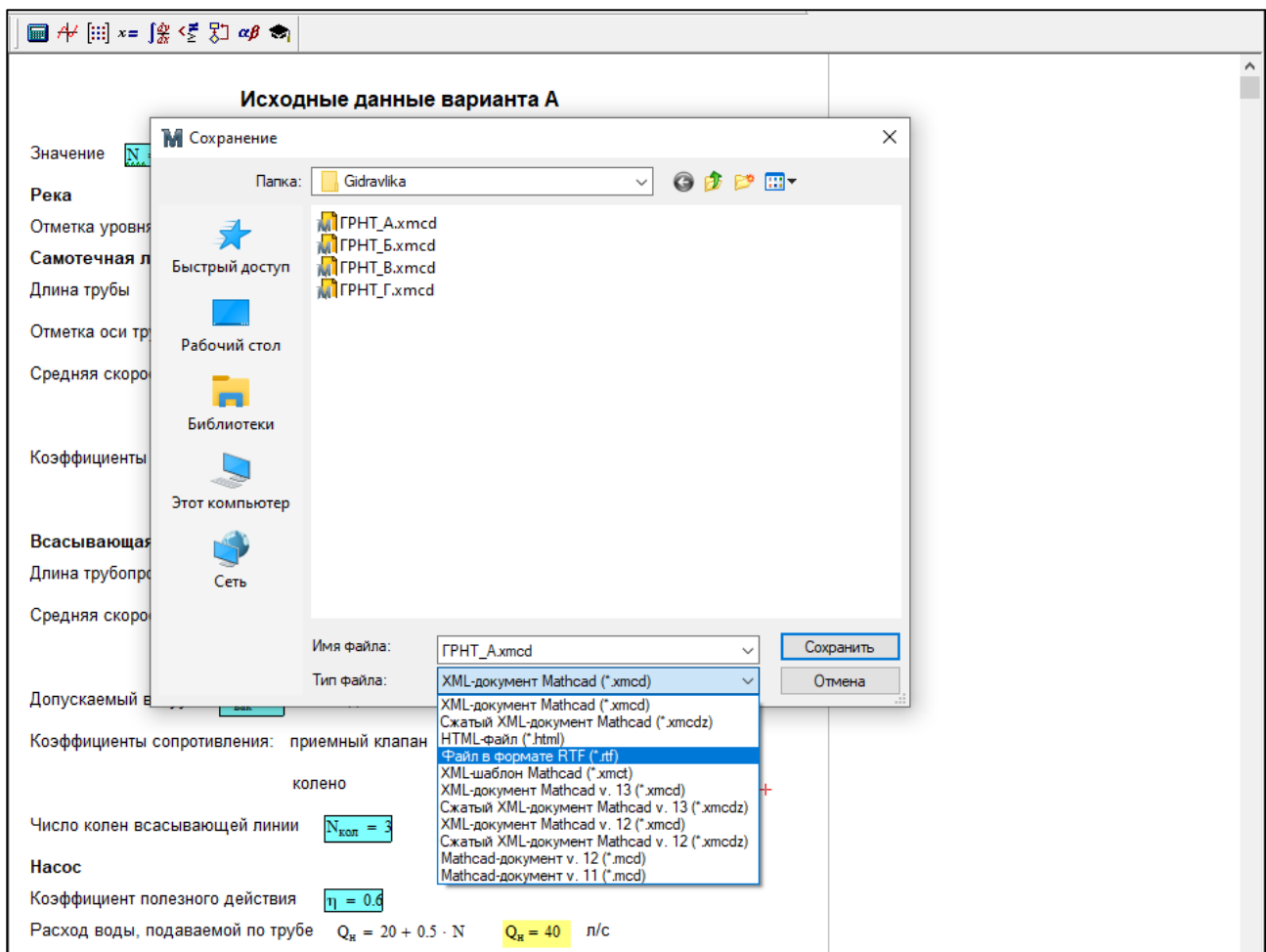


Рисунок 6.80 – Сохранение документа *Mathcad* в формате **.rtf*.

На рисунках 6.81 – 6.92 представлен пример гидравлического расчета для варианта задания А с применением документа-шаблона *Mathcad*. Отредактированный документ *Mathcad* после преобразования в документ *MS Word* содержит 12 страниц.

Исходные данные варианта А

Значение $N = 40$

Река

Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N$ $Z_0 = 140$ м

Самотечная линия 1-2

Длина трубы $L_{сам} = 50 + N$ $L_{сам} = 90$ м

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5$ $Z_1 = 135$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_1 = 0.8$ м/с

до $V_2 = 1.2$ м/с

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $\zeta_c = 5$

на выходе из трубы $\zeta_{вых} = 1$

Всасывающая линия 3-4

Длина трубопровода всасывающей линии $L_{вс} = 10 + 0.5 \cdot N$ $L_{вс} = 30$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_3 = 0.6$ м/с

до $V_4 = 1.0$ м/с

Допускаемый вакуум $H_{вак} = 6$ м водяного столба

Коэффициенты сопротивления: приемный клапан $\zeta_{кл} = 10$

колена $\zeta_{кол} = 0.33$

Число колен всасывающей линии $N_{кол} = 3$

Насос

Коэффициент полезного действия $\eta = 0.6$

Расход воды, подаваемой по трубе $Q_n = 20 + 0.5 \cdot N$ $Q_n = 40$ л/с

Водовод 5-6

Длина водовода $L_{вод} = 200 + 20 \cdot N$ $L_{вод} = 1 \times 10^3$ м

Средняя скорость движения воды в трубе: от $V_5 = 0.6$ м/с

до $V_6 = 0.9$ м/с

Водонапорная башня Г

Отметки земли у башни $Z_7 = 120 + 1.2 \cdot N$ $Z_7 = 168$ м

Высота ствола башни $H_6 = 12$ м

Высота резервуара $H_{рез} = 4$ м

Рисунок 6.81 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (начало)

Разводящая сеть

Протяженность участков разводящей сети

$$L_{7_8} = 500 \text{ м} \quad L_{8_{11}} = 700 \text{ м} \quad L_{9_{13}} = 600 \text{ м}$$

$$L_{8_9} = 600 \text{ м} \quad L_{8_{10}} = 800 \text{ м} \quad L_{9_{12}} = 700 \text{ м}$$

Отметки земли в точках водопотребления 10,11,12,13

$$Z_{10} = 115 + N \quad Z_{10} = 155 \text{ м}$$

$$Z_{11} = 112 + N \quad Z_{11} = 152 \text{ м}$$

$$Z_{12} = 111 + N \quad Z_{12} = 151 \text{ м}$$

$$Z_{13} = 110 + N \quad Z_{13} = 150 \text{ м}$$

Расход воды в точках водопотребления 10,11,12,13

$$Q_{10} = 20$$

$$Q_{11} = 15 + 0.1 \cdot N \quad Q_{11} = 19 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{12} = 15$$

$$Q_{13} = 10 + 0.1 \cdot N \quad Q_{13} = 14 \text{ м}^3/\text{с}$$

Требуемый (минимальный) свободный напор в точках водопотребления

$$H_{\text{св. min. 10}} = 8 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 11}} = 3 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 12}} = 8 \text{ м} \quad H_{\text{св. min. 13}} = 10 \text{ м}$$

Коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$

Ускорение свободного падения $g_{\text{св}} = 9.81$

Удельный вес воды $\gamma = 1.0 \text{ кг/дм}^3$

Тип труб (1-новые стальные и чугунные, 2-новые стальные, 3-новые чугунные, 4-асбестоцементные) $\Gamma_{\text{св}} = 4$

Расчетная часть

1. Определение диаметра самоточной линии 1-2

1.1. Средняя скорость течения воды

$$V_{\text{сам. ср}} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad V_{\text{сам. ср}} = 1 \text{ м/с}$$

1.2. Диаметр трубы

$$d_{\text{сам}} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{н}}}{V_{\text{сам. ср}}}} \quad d_{\text{сам}} = 225.787 \text{ мм}$$

1.3. Используя табл., округляем диаметр трубы до ближайшего большего

стандартного значения $d_{\text{сам. р}} = 235 \text{ мм}$

Рисунок 6.82 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

1.4. При расчетном диаметре трубы средняя скорость течения воды составит

$$V_{\text{сам.р}} = \frac{(1270 \cdot Q_{\text{н}})}{d_{\text{сам.р}}^2} \quad V_{\text{сам.р}} = 0.92 \quad \text{м/с}$$

2. Определение отметки поверхности воды Z_2 в колодце Б

2.1. Значение удельного сопротивления для трубы

$$A_{\text{ус}}(t, d, v) = \begin{cases} \text{if } t = 1 & \\ \left| \begin{array}{ll} \frac{0.001478}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v}\right)^{0.3} & \text{if } v < 1.2 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \frac{0.001735}{(0.001 \cdot d)^{5.3}} & \text{if } v \geq 1.2 & \\ \frac{0.001314}{(0.001 \cdot d)^{5.226}} \left(1 + \frac{0.684}{v}\right)^{0.226} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \frac{0.001190}{(0.001 \cdot d)^{5.284}} \left(1 + \frac{2.36}{v}\right)^{0.284} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \frac{0.000910}{(0.001 \cdot d)^{5.19}} \left(1 + \frac{3.51}{v}\right)^{0.190} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{array} \right. \end{cases}$$

$$A_{\text{сам}} = A_{\text{ус}}(T, d_{\text{сам.р}}, V_{\text{сам.р}}) \quad A_{\text{сам}} = 2.254$$

2.2. Потери напора по длине трубопровода

$$h_{1,\text{сам}} = 10^{-6} \cdot A_{\text{сам}} \cdot L_{\text{сам}} \cdot Q_{\text{н}}^2 \quad h_{1,\text{сам}} = 0.325 \quad \text{м}$$

2.3. Местные потери напора

$$h_{\text{м,сам}} = \frac{V_{\text{сам.р}}^2 \cdot (\zeta_{\text{с}} + \zeta_{\text{ввых}})}{2 \cdot g} \quad h_{\text{м,сам}} = 0.259 \quad \text{м}$$

2.4. Суммарные потери напора

$$h_{\text{в,сам}} = h_{1,\text{сам}} + h_{\text{м,сам}} \quad h_{\text{в,сам}} = 0.583 \quad \text{м}$$

2.5. Отметка уровня воды в колодце Б

$$Z_2 = Z_0 - h_{\text{в,сам}} \quad Z_2 = 139.417 \quad \text{м}$$

2.6. Построение напорной и пьезометрической линий на продольном профиле самотечной линии 1-2

Вначале определим абсциссы и ординаты напорной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{сн}_0} &= 0 & H_{\text{сн}_0} &= Z_0 \\ L_{\text{сн}_1} &= L_{\text{сн}_0} & H_{\text{сн}_1} &= H_{\text{сн}_0} - \frac{V_{\text{сам.р}}^2 \cdot \zeta_{\text{с}}}{2 \cdot g} \end{aligned}$$

Рисунок 6.83 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

$$L_{сн2} = L_{сн1} + L_{сам}$$

$$H_{сн2} = H_{сн1} - h_{1,сам}$$

$$L_{сн3} = L_{сн2}$$

$$H_{сн3} = H_{сн2} - \frac{V_{сам,р}^2 \cdot \zeta_{вых}}{2 \cdot g}$$

Определим ординаты пьезометрической линии

$$H_{сп} = H_{сн} - \frac{\alpha V_{сам,р}^2}{2 \cdot g}$$

Получим численные значения

$$L_{сн} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 90 \\ 90 \end{pmatrix}$$

$$H_{сн} = \begin{pmatrix} 140 \\ 139.784 \\ 139.46 \\ 139.417 \end{pmatrix}$$

$$H_{сп} = \begin{pmatrix} 139.953 \\ 139.737 \\ 139.412 \\ 139.369 \end{pmatrix}$$

Строим график

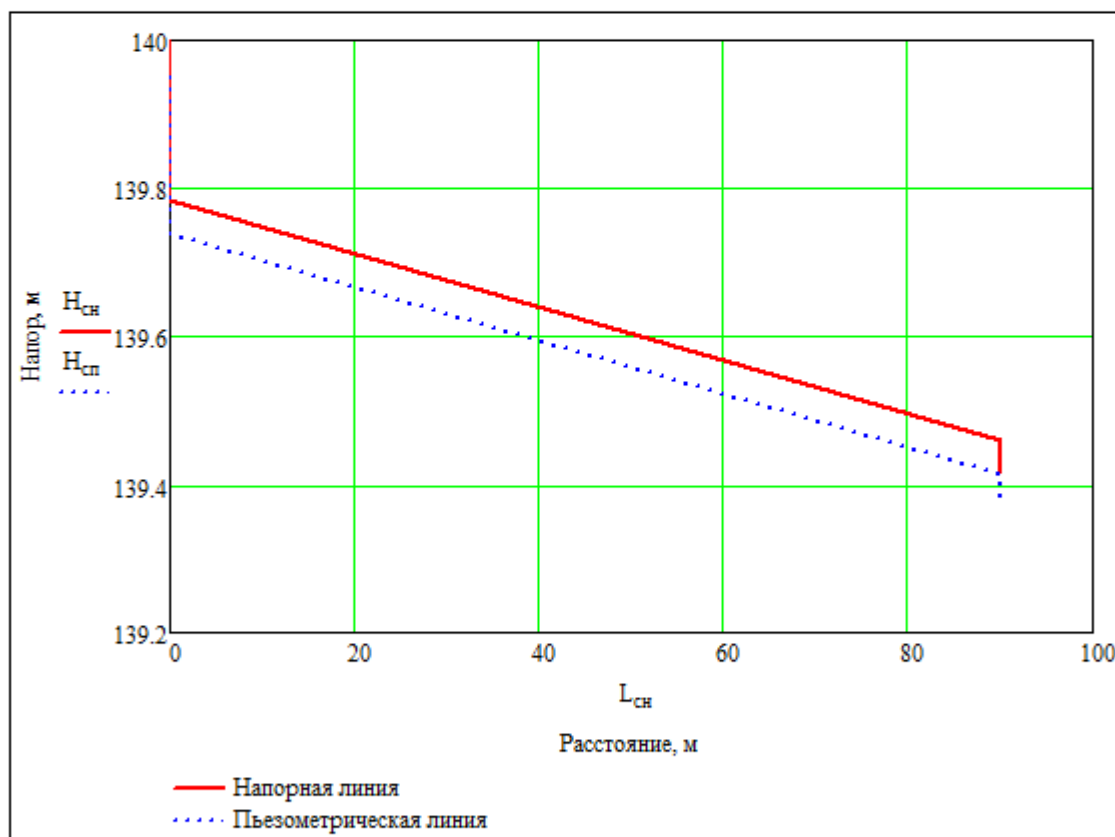


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии на продольном профиле самотечной линии 1-2

3. Определение диаметра всасывающей линии 3-4

3.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды во всасывающей линии

$$V_{вс,ср} = \frac{(V_3 + V_4)}{2} \quad V_{вс,ср} = 0.8 \quad \text{м/с}$$

Рисунок 6.84 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

3.2. Диаметр всасывающей трубы

$$d_{вс} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вс.ср}}} \quad d_{вс} = 252.437 \quad \text{мм}$$

3.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вс.р} = 279$ мм

3.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вс.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вс.р}^2} \quad V_{вс.р} = 0.653 \quad \text{м/с}$$

4. Определение отметки оси насоса

4.1. Значение удельного сопротивления для труб

$$A_{вс} = A_{ус}(T, d_{вс.р}, V_{вс.р}) \quad A_{вс} = 0.976$$

4.2. Потери напора по длине трубопровода

$$h_{l.вс} = 10^{-6} \cdot A_{вс} \cdot L_{вс} \cdot Q_H^2 \quad h_{l.вс} = 0.047 \quad \text{м}$$

4.3. Местные потери напора во всасывающей линии

$$h_{м.вс} = \frac{V_{вс.р}^2 \cdot (\zeta_{кл} + N_{кол} \cdot \zeta_{кол})}{2 \cdot g} \quad h_{м.вс} = 0.239 \quad \text{м}$$

4.4. Суммарные потери напора

$$h_{w.вс} = h_{l.вс} + h_{м.вс} \quad h_{w.вс} = 0.285 \quad \text{м}$$

4.5. Отметка оси насоса

$$Z_4 = Z_2 + H_{взк} - h_{w.вс} - \frac{(\alpha \cdot V_{вс.р}^2)}{2 \cdot g} \quad Z_4 = 145.107 \quad \text{м}$$

5. Определение диаметра водовода 5-6

5.1. Рекомендуемая средняя скорость течения воды в водоводе

$$V_{вод.ср} = \frac{(V_5 + V_6)}{2} \quad V_{вод.ср} = 0.75 \quad \text{м/с}$$

5.2. Диаметр трубы водовода

$$d_{вод} = 35.7 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{V_{вод.ср}}} \quad d_{вод} = 260.716 \quad \text{мм}$$

5.3. Используя **табл.**, округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{вод.р} = 279$ мм

5.4. Уточняем среднюю скорость течения воды при расчетном диаметре труб

$$V_{вод.р} = \frac{(1270 \cdot Q_H)}{d_{вод.р}^2} \quad V_{вод.р} = 0.653 \quad \text{м/с}$$

Рисунок 6.85 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

6. Определение напора, развиваемого насосом

6.1. Отметка уровня воды в резервуаре

$$Z_{рез} = Z_7 + H_6 + H_{рез} \quad Z_{рез} = 184 \quad \text{м}$$

6.2. Геодезическая высота подъема воды

$$H_T = Z_{рез} - Z_2 \quad H_T = 44.583 \quad \text{м}$$

6.3. Значение удельного сопротивления для труб

$$A_{вод} = A_{ус}(T, d_{вод.р}, V_{вод.р}) \quad A_{вод} = 0.976$$

6.4. Определение потерь напора в водоводе

$$h_{w.вод} = 1.1 \cdot 10^{-6} \cdot A_{вод} \cdot L_{вод} \cdot Q_H^2 \quad h_{w.вод} = 1.717 \quad \text{м}$$

6.5. Напор, развиваемый насосом

$$H_N = H_T + h_{w.вс} + h_{w.вод} \quad H_N = 46.586 \quad \text{м}$$

7. Мощность на валу насоса

$$N_э = \frac{(\gamma \cdot Q_H \cdot H_N)}{102 \cdot \eta} \quad N_э = 30.448 \quad \text{кВт}$$

8. Определение диаметров труб разводящей сети

8.1. Напор пьезометрический в начале магистрали

$$Z_6 = Z_7$$

$$H_{п.нач} = Z_6 + H_6 \quad H_{п.нач} = 180 \quad \text{м}$$

8.2. Средний гидравлический уклон для возможных направлений движения воды до точек водопотребления

$$\text{Участок 7-8-9-12} \quad i_{ср7_12} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{12} + H_{св.min.12})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_12}} \quad i_{ср7_12} = 0.0116667$$

$$\text{Участок 7-8-9-13} \quad i_{ср7_13} = \frac{[H_{п.нач} - (Z_{13} + H_{св.min.13})]}{L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_13}} \quad i_{ср7_13} = 0.0117647$$

8.3. По наименьшему среднему гидравлическому уклону

$$i_{ср.min} = \text{if}(i_{ср7_12} < i_{ср7_13}, i_{ср7_12}, i_{ср7_13}) \quad i_{ср.min} = 0.0116667$$

находим магистральное направление

Магистральным будет направление 7-8-9-12

8.4. Расчет магистрального направления

8.4.1. Расходы воды на участках магистрального направления

$$Q_{7_8} = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{7_8} = 68 \quad \text{л/с}$$

Рисунок 6.86 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

$$Q_{8_9} = Q_{12} + Q_{13} \quad Q_{8_9} = 29 \quad \text{л/с}$$

$$Q_{9_12} = Q_{12} \quad Q_{9_12} = 15 \quad \text{л/с}$$

8.4.2. Среднее удельное сопротивление для каждого участка магистрального направления (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}7_8} = \frac{i_{\text{ср}7_12}}{Q_{7_8}^2} \quad A_{\text{ср}7_8} = 0.0000025231$$

$$A_{\text{ср}8_9} = \frac{i_{\text{ср}7_12}}{Q_{8_9}^2} \quad A_{\text{ср}8_9} = 0.0000138724$$

$$A_{\text{ср}9_12} = \frac{i_{\text{ср}7_12}}{Q_{9_12}^2} \quad A_{\text{ср}9_12} = 0.0000518519$$

8.4.3. Диаметр труб и средняя скорость для каждого участка магистрального направления

$$d_{\text{тр}}(t, A_{\text{ср}}) = \begin{cases} \left(\frac{0.001735}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.3}} & \text{if } t = 1 & \text{Трубы неновые стальные и чугунные} \\ \left(\frac{0.001478}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.226}} & \text{if } t = 2 & \text{Трубы новые стальные} \\ \left(\frac{0.001679}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.284}} & \text{if } t = 3 & \text{Трубы новые чугунные} \\ \left(\frac{0.001212}{10^6 \cdot A_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{5.19}} & \text{if } t = 4 & \text{Трубы асбестоцементные} \end{cases}$$

$$d_{7_8} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}7_8}) \quad d_{7_8} = 0.229 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{7_8.p} = 235$ мм

$$d_{8_9} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}8_9}) \quad d_{8_9} = 0.165 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_9.p} = 189$ мм

$$d_{9_12} = d_{\text{тр}}(T, A_{\text{ср}9_12}) \quad d_{9_12} = 0.128 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9_12.p} = 141$ мм

Рисунок 6.87 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

Скорость течения воды составит

$$V_{7,8,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{7,8})}{d_{7,8,p}^2} \quad V_{7,8,p} = 1.564 \quad \text{м/с}$$

$$V_{8,9,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8,9})}{d_{8,9,p}^2} \quad V_{8,9,p} = 1.031 \quad \text{м/с}$$

$$V_{9,12,p} = \frac{(1270 \cdot Q_{9,12})}{d_{9,12,p}^2} \quad V_{9,12,p} = 0.958 \quad \text{м/с}$$

8.4.4. Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{7,8} = A_{\text{yc}}(T, d_{7,8,p}, V_{7,8,p}) \quad A_{7,8} = 2.091$$

$$A_{8,9} = A_{\text{yc}}(T, d_{8,9,p}, V_{8,9,p}) \quad A_{8,9} = 6.863$$

$$A_{9,12} = A_{\text{yc}}(T, d_{9,12,p}, V_{9,12,p}) \quad A_{9,12} = 31.743$$

8.4.5. Потери напора на участках магистрального направления

$$h_{w,7,8} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{7,8} \cdot L_{7,8} \cdot Q_{7,8}^2 \quad h_{w,7,8} = 5.317 \quad \text{м}$$

$$h_{w,8,9} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8,9} \cdot L_{8,9} \cdot Q_{8,9}^2 \quad h_{w,8,9} = 3.81 \quad \text{м}$$

$$h_{w,9,12} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9,12} \cdot L_{9,12} \cdot Q_{9,12}^2 \quad h_{w,9,12} = 5.499 \quad \text{м}$$

8.4.6. Суммарные потери напора на магистральном направлении

$$h_{w,\text{сум}} = h_{w,7,8} + h_{w,8,9} + h_{w,9,12} \quad h_{w,\text{сум}} = 14.626 \quad \text{м}$$

Суммарные потери напора не должны превышать значения числителя в формуле расчета среднего гидравлического уклона для участка 7-8-9-12 (см. п.8.2.)

$$h_{w,\text{сум}} = 14.626 \leq H_{\text{п.нач}} - (Z_{12} + H_{\text{св.min.12}}) = 21$$

Условие выполняется

8.4.7. Пьезометрический напор во всех узлах магистрального направления

$$H_{\text{п.8}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} \quad H_{\text{п.8}} = 174.683 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.9}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} - h_{w,8,9} \quad H_{\text{п.9}} = 170.873 \quad \text{м}$$

$$H_{\text{п.12}} = H_{\text{п.нач}} - h_{w,7,8} - h_{w,8,9} - h_{w,9,12} \quad H_{\text{п.12}} = 165.374 \quad \text{м}$$

8.4.8. Свободный напор в точке водопотребления на магистрали

$$H_{\text{св.12}} = H_{\text{п.12}} - Z_{12} \quad H_{\text{св.12}} = 14.374 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании

$$H_{\text{св.min.12}} = 8 \quad \text{м}$$

Условие выполняется

Рисунок 6.88 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

8.5. Расчет ответвлений от магистрали

Участок 8-10

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}8_10} = \frac{[H_{\text{п.8}} - (Z_{10} + H_{\text{св.min.10}})]}{L_{8_10}} \quad i_{\text{ср}8_10} = 0.0146033$$

Расход воды на участке

$$Q_{8_10} = Q_{10} \quad Q_{8_10} = 20 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}8_10} = \frac{i_{\text{ср}8_10}}{Q_{8_10}^2} \quad A_{\text{ср}8_10} = 0.0000365081$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_10} = d_{\text{тр}}(\Gamma, A_{\text{ср}8_10}) \quad d_{8_10} = 0.137 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_10.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_10.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_10})}{d_{8_10.p}^2} \quad V_{8_10.p} = 1.278 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_10} = A_{\text{ут}}(\Gamma, d_{8_10.p}, V_{8_10.p}) \quad A_{8_10} = 30.451$$

Потери напора на участке

$$h_{\text{в.8_10}} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_10} \cdot L_{8_10} \cdot Q_{8_10}^2 \quad h_{\text{в.8_10}} = 10.719 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{\text{п.10}} = H_{\text{п.нач}} - h_{\text{в.7_8}} - h_{\text{в.8_10}} \quad H_{\text{п.10}} = 163.964 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{\text{св.10}} = H_{\text{п.10}} - Z_{10} \quad H_{\text{св.10}} = 8.964 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.min.10}} = 8$ м

Условие выполняется

Участок 8-11

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}8_11} = \frac{[H_{\text{п.8}} - (Z_{11} + H_{\text{св.min.11}})]}{L_{8_11}} \quad i_{\text{ср}8_11} = 0.0252609$$

Рисунок 6.89 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

Расход воды на участке

$$Q_{8_11} = Q_{11} \quad Q_{8_11} = 19 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}8_11} = \frac{i_{\text{ср}8_11}}{Q_{8_11}^2} \quad A_{\text{ср}8_11} = 0.0000699747$$

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{8_11} = d_{\text{сп}}(T, A_{\text{ср}8_11}) \quad d_{8_11} = 0.121 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{8_11.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{8_11.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{8_11})}{d_{8_11.p}^2} \quad V_{8_11.p} = 1.214 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{8_11} = A_{\text{уч}}(T, d_{8_11.p}, V_{8_11.p}) \quad A_{8_11} = 30.671$$

Потери напора на участке

$$h_{w.8_11} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{8_11} \cdot L_{8_11} \cdot Q_{8_11}^2 \quad h_{w.8_11} = 8.526 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.11} = H_{п.нач} - h_{w.7_8} - h_{w.8_11} \quad H_{п.11} = 166.157 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{\text{св.}11} = H_{п.11} - Z_{11} \quad H_{\text{св.}11} = 14.157 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{\text{св.}min.11} = 5$ м

Условие выполняется

Участок 9-13

Средний гидравлический уклон

$$i_{\text{ср}9_13} = \frac{[H_{п.9} - (Z_{13} + H_{\text{св.}min.13})]}{L_{9_13}} \quad i_{\text{ср}9_13} = 0.0181216$$

Расход воды на участке

$$Q_{9_13} = Q_{13} \quad Q_{9_13} = 14 \quad \text{л/с}$$

Среднее удельное сопротивление (для Q в л/с)

$$A_{\text{ср}9_13} = \frac{i_{\text{ср}9_13}}{Q_{9_13}^2} \quad A_{\text{ср}9_13} = 0.0000924574$$

Рисунок 6.90 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

Диаметр труб и средняя скорость для участка-ответвления

$$d_{9_13} = d_{тр}(T, A_{ср9_13}) \quad d_{9_13} = 0.115 \quad \text{м}$$

Используя **табл.** округляем диаметр трубы до ближайшего большего стандартного значения $d_{9_13.p} = 141$ мм

В этом случае скорость течения воды составит

$$V_{9_13.p} = \frac{(1270 \cdot Q_{9_13})}{d_{9_13.p}^2} \quad V_{9_13.p} = 0.894 \quad \text{м/с}$$

Уточняем значение удельного сопротивления (для Q в куб.м/с)

$$A_{9_13} = A_{уч}(T, d_{9_13.p}, V_{9_13.p}) \quad A_{9_13} = 32.074$$

Потери напора на участке

$$h_{w.9_13} = 1.1 \cdot 10^{-6} A_{9_13} \cdot L_{9_13} \cdot Q_{9_13}^2 \quad h_{w.9_13} = 4.149 \quad \text{м}$$

Пьезометрический напор в точке водопотребления

$$H_{п.13} = H_{п.нач} - h_{w.7_8} - h_{w.8_9} - h_{w.9_13} \quad H_{п.13} = 166.724 \quad \text{м}$$

Свободный напор в точке водопотребления

$$H_{св.13} = H_{п.13} - Z_{13} \quad H_{св.13} = 16.724 \quad \text{м}$$

Величина свободного напора не должна быть меньше величины требуемого (минимального) свободного напора, указанного в задании $H_{св.min.13} = 10$ м

Условие выполняется

8.6. Построение пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления 7-8-9-12 разводящей сети

Определим абсциссы и ординаты пьезометрической линии

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_{7_8} \\ L_{7_8} + L_{8_9} \\ L_{7_8} + L_{8_9} + L_{9_12} \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} H_{п.нач} \\ H_{п.8} \\ H_{п.9} \\ H_{п.12} \end{pmatrix}$$

Получим численные значения

$$L_{рп} = \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 1.1 \times 10^3 \\ 1.8 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad H_{рп} = \begin{pmatrix} 180 \\ 174.683 \\ 170.873 \\ 165.374 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.91 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (продолжение)

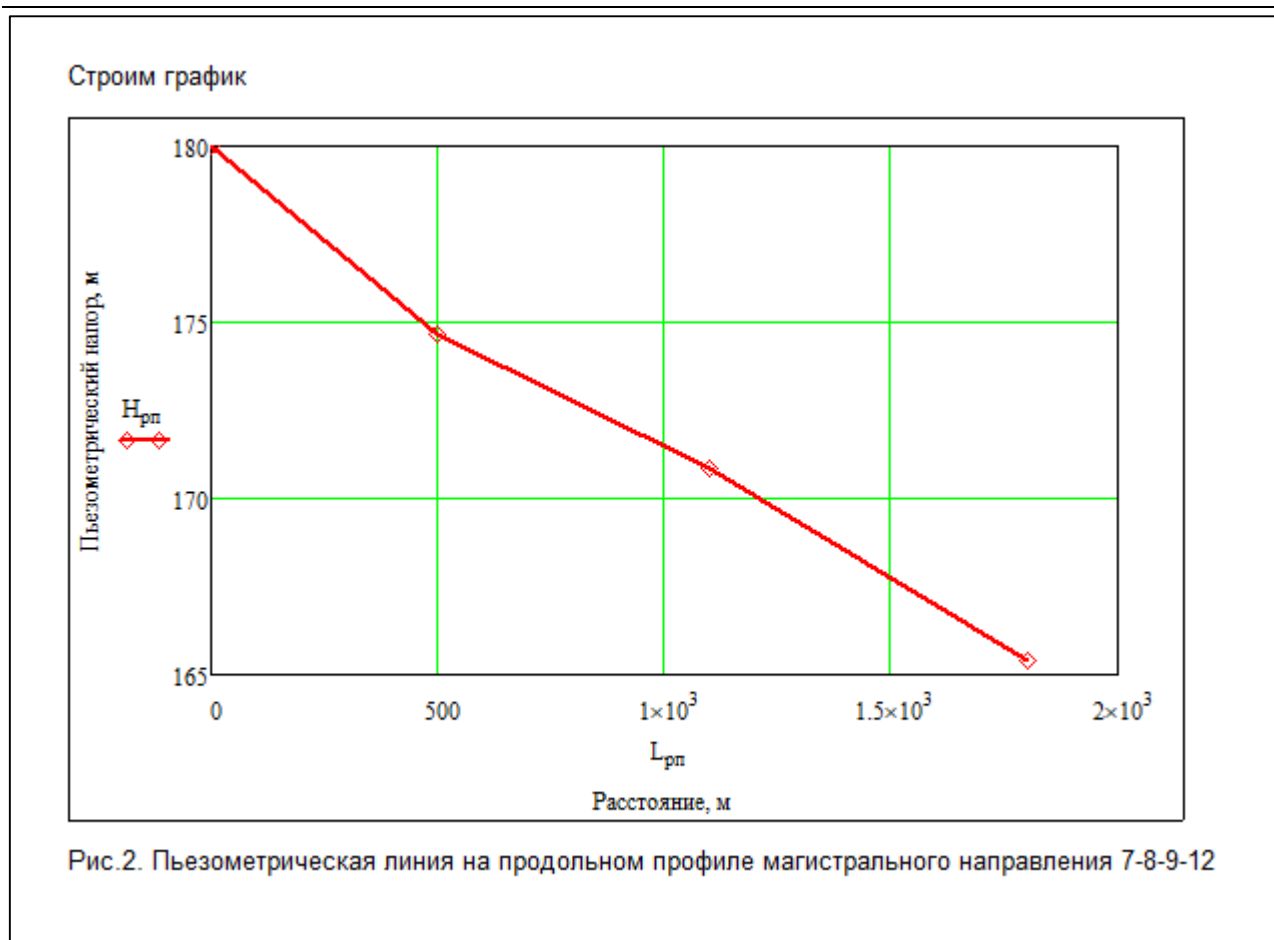


Рисунок 6.92 – Пример расчета и окончательного оформления варианта задания А (окончание)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

БЛАНКИ ЗАДАНИЙ

В а р и а н т А; N = ...

Водоснабжение строительной площадки осуществляется следующим образом (рисунок. 1.1). Вода из реки «А» по самотечной линии 1-2 поступает в колодец «Б». Самотечная линия уложена горизонтально и снабжена предохранительной сеткой 1. Из колодца «Б» вода всасывается по трубе 3-4 насосом «В» и нагнетается по водоводу 5-6 в резервуар водонапорной башни «Г». Из башни по разводящей сети труб вода поступает в пункты потребления 10,11,12 и 13, расположенные на территории строительной площадки «Д».

1. Исходные данные

Р е к а

Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N = \dots$ м.

С а м о т е ч н а я л и н и я 1-2

Отметка оси трубы $Z_1 = Z_0 - 5 = \dots$ м.

Длина трубы $50 + N = \dots$ м.

Средняя скорость движения воды V от 0.8 до 1.2 м/с.

Коэффициенты сопротивления: предохранительной сетки $\zeta_c = 5.0; 4.0$; на выходе из трубы $\zeta_b = 1.0$.

В с а с ы в а ю щ а я л и н и я 3 - 4

Длина трубы $10 + 0.5N = \dots$ м.

Средняя скорость движения воды V от 0.6 до 1.0 м/с.

Допускаемый вакуум 6 м водяного столба.

В начале всасывающей линии имеется приемный клапан с сеткой.

Коэффициенты сопротивления: приемного клапана $\zeta_{кл} = 10; 5$; колена $\zeta_k = 0,33$. Число колен – 3.

Н а с о с

Коэффициент полезного действия насоса $\eta = 0.6; 0.7$.

Расход воды, подаваемый насосом $Q = 20 + 0.5N = \dots$ л/с.

Расход в самотечной и всасывающей линиях, а также в водоводе равен расходу, подаваемому насосом.

В о д о в о д 5-6

Длина $200 + 20N = \dots$ м.

Средняя скорость движения воды V от 0.6 до 0.9 м/с.

В о д о н а п о р н а я б а ш н я

Отметка земли у башни $Z_7 = 120 + 1.2N = \dots$ м.

Высота ствола башни $H_6 = 12$ м.

Высота резервуара $H_{рез} = 4$ м.

Разводящая сеть строительной площадки

№ участка	7-8	8-9	8-11	8-10	9-13	9-12
Длина, м	500	600	700	800	600	700

Точки водопотребления на строительной площадке

№ точек	10	11	12	13
Требуемый свободный напор, м	8	5	8	10
Расход, л/с	20	15 + 0.1N	15	10 + 0.1N
Отметка земли, м	115 + N	112 + N	111 + N	110 + N

2. Состав работы

Расчетная часть

Требуется определить:

1. Диаметр самотечной линии 1-2.
2. Отметку Z_2 уровня воды в колодце «Б».
3. Диаметр всасывающей линии 3-4.
4. Отметку Z_4 оси насоса.
5. Диаметр водовода.
6. Напор и мощность на валу насоса.
7. Диаметры труб разводящей сети.

Графическая часть

Построить в масштабе:

1. Пьезометрическую и напорную линии на продольном профиле самотечной линии с указанием уровней воды в реке и колодце «Б».
2. Пьезометрическую линию на продольном профиле магистрального направления для разводящей сети труб.

Примечания:

Все трубы стальные, чугунные, новые или бывшие в употреблении, асбестоцементные.

При построении пьезометрической линии на продольном профиле магистрального направления разводящей сети на чертеже показать линию поверхности земли, ниже которой на 2 метра проложены трубы. Построение профиля поверхности земли производится по заданным отметкам земли в точках 7, 12(13).

В а р и а н т Б; N = ...

Водоснабжение строительной площадки «Д» осуществляется следующим образом (рисунок. 1.2). Вода из водоприемного ковша «А» по дюкеру 1-2-3-4-5-6 подается в колодец «Б», откуда насосом по трубе 7-8 засасывается и по водоводу 9-10-11-12-13-14, состоящему из двух параллельных трубопроводов с переключениями, нагнетается в резервуар водонапорной башни «Г». Из башни «Г» по разводящей сети труб вода поступает к пунктам водопотребления 16,17,18,19, расположенным на территории строительной площадки «Д».

1. Исходные данные

В о д о п р и е м н ы й к о в ш

Отметка поверхности воды $Z_0 = 100 + N \dots \text{м}$

Д ю к е р 1-2-3-4-5-6

Длина дюкера $200 + 2N \dots \text{м}$

Дюкер состоит из пяти участков 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 одинаковой длины. Трубы на участках 1-2, 3-4 и 5-6 уложены горизонтально.

Отметки оси трубы дюкера

$Z_1 = Z_2 = Z_0 - 3 = \dots \text{м}$

$Z_3 = Z_4 = Z_0 - 10 = \dots \text{м}$

$Z_5 = Z_6 = Z_7 - 1 = \dots \text{м}$

Средняя скорость движения воды от 1.2 до 1.5 м/с.

Коэффициенты сопротивления: вход $\zeta_{\text{вх.}} = 5$; поворот $\zeta_{\text{п}} = 0.2$; выход $\zeta_{\text{вых}} = 1$.

В с а с ы в а ю щ а я л и н и я 7 – 8

Длина линии $10 + 0.5N = \dots \text{м}$.

Средняя скорость движения воды V от 0.8 до 1.2 м/с.

Допускаемый вакуум 7 м водяного столба.

При входе во всасывающую линию имеется приемный клапан с сеткой.

Коэффициенты сопротивления: приемный клапан $\zeta_{\text{кл}} = 10$; 5; колено $\zeta_{\text{к}} = 0.33$; число колен – 3.

Н а с о с

Коэффициент полезного действия $\eta = 0.65$; 0.70.

Расход воды, подаваемый насосом $Q = 40 + 0.4N = \dots \text{л/с}$.

Расход в дюкере, всасывающей линии и водоводе равен расходу, подаваемому насосом.

В о д о в о д 9-10-11-12-13-14

Длина одной нитки 5000 м. Диаметр труб 200 мм. Водовод состоит из двух ниток и пяти участков равной длины, с переключениями, позволяющими выключать любой из участков при аварии. Участок 11-12 при расчете считать выключенным.

В этом случае весь расход на параллельном участке 11-12 проходит по одной нитке, а на других участках по каждой нитке проходит половинный расход.

Водонапорная башня

Отметка поверхности земли $Z_{14} = Z_{15} = 120 + 1.5N = \dots$ м.

Высота ствола башни $H_6 = 12$ м. Высота резервуара $H_{рез} = 3$ м.

Разводящая сеть

№ участка	15-16	16-17	17-18	16-19
Длина, м	$1000+12N$	500	$100+5N$	200

Отметки земли в точках водопотребления 16,17,18,19 одинаковы и равны $112 + 1.4N = \dots$ м. Расходы в этих точках одинаковы и равны $1/4$ расхода, подаваемого насосом. В каждой точке водопотребления должен быть обеспечен свободный напор не менее 7 м.

2. Состав работы

Расчетная часть

Требуется определить:

1. Диаметр трубы дюкера 1-2-3-4-5-6.
2. Отметку Z_7 поверхности воды в колодце.
3. Диаметр всасывающей линии 7-8.
4. Отметку оси насоса Z_8 .
5. Напор, развиваемый насосом.
6. Мощность на валу насоса.
7. Диаметр труб разводящей сети.

Графическая часть

Построить в масштабе:

1. Пьезометрическую и напорную линии на продольном профиле дюкера с указанием уровней воды перед входом в дюкер и на выходе из него.
2. Пьезометрическую линию на продольном профиле водовода.
3. Пьезометрическую линию для магистрального направления разводящей сети труб.

Примечания:

Все трубы стальные, чугунные, новые или бывшие в употреблении, асбестоцементные.

При построении пьезометрических линий на продольном профиле водовода и магистрального направления разводящей сети на чертеже показать линию поверхности земли, ниже которой на 2 метра проложены трубы.

В а р и а н т В; N = ...

Водоснабжение строительной площадки «Г» осуществляется следующим образом (рисунок. 1.3). Вода из реки «А» по сифону 1-2 поступает в колодец «Б», из которого насосом «В» всасывается по линии 3-4 и нагнетается по водоводу 5-6-10 в резервуар «Д», если при этом на строительной площадке не расходуется вода. Когда насос не работает, вода из резервуара через разводящую сеть труб поступает к точкам потребления 9,6,7,8.

1. Исходные данные

С и ф о н 1-2

Длина труб $50 + 2N = \dots$ м.

Длина вертикальной части трубы сифона 8 м.

Средняя скорость движения воды V от 0.8 до 1.3 м/с.

Допускаемый вакуум 6.5 м водяного столба.

Отметка уровня воды в реке $Z_0 = 100 + N \dots$ м.

Отметка входного сечения сифона $Z_1 = Z_0 - 3 = \dots$ м.

На входе в сифон установлена сетка. Коэффициенты сопротивления: сетки $\zeta_c = 3$; колена $\zeta_k = 0.5$; выхода из трубы $\zeta_v = 1.0$.

В с а с ы в а ю щ а я л и н и я 3-4

Длина линии $20 + 0.4N = \dots$ м.

Средняя скорость движения от 0.5 до 1.0 м/с.

Допускаемый вакуум 7 м водяного столба.

На входе во всасывающую линию установлен приемный клапан с сеткой. Коэффициенты сопротивления: приемного клапана $\zeta_{кл} = 10$; 5; колена $\zeta_k = 0.33$. Число колен - 3.

Н а с о с

Расход воды, подаваемый насосом, равный расходу в сифоне, всасывающей линии и в водоводе $Q = 30 + 0.3N = \dots$ л/с.

Коэффициент полезного действия насоса $\eta = 0.7$; 0.6.

В о д о в о д 5-6-10 и р а з в о д я щ а я с е т ь 9-6-7-8

Длина участка 5-6 $1000 + 50N = \dots$ м.

Диаметр участка 5-6 250 мм.

№ участка	6-10	6-7	7-8	6-9
Длина, м	$100+10N=$	$100+5N=$	$100+5N=$	300

В о д о р а з б о р н ы е т о ч к и 6, 7, 8, 9

№ точек	6	7	8	9
Расход, л/с	15	20	$5+0,5N=$	$10+0,5N=$
Отметки земли, м	$128+N=$	$128+N=$	$127+N=$	$126+N=$

Во всех водоразборных точках необходимо обеспечить свободный напор не менее 8 м водяного столба.

Водонапорная башня

Отметки земли у башни $Z_{10} = 136 + N$. . . м.

Высота столба башни $H_6 = 12$ м. Высота резервуара $H_{рез} = 4$ м.

2. Состав работы

Расчетная часть

Требуется определить:

1. Диаметр сифона 1-2.
2. Отметку поверхности воды Z_3 в колодце «Б».
3. Отметку наиболее возвышенной точки сифона Z_2 .
4. Диаметр всасывающей линии 3-4.
5. Отметку оси насоса Z_4 .
6. Диаметры труб разводящей сети, считая, что поступление воды к точкам водоразбора происходит только из резервуара при неработающем насосе.
7. Напор, развиваемый насосом, для того случая, когда в разводящей сети нет водоразбора и весь расход поступает в резервуар.
8. Мощность на валу насоса.

Графическая часть

Построить в масштабе:

1. Пьезометрическую и напорную линии на продольном профиле сифона 1-2.
2. Пьезометрическую линию на продольном профиле водовода 5-6-10 для того случая, когда вся вода, подаваемая насосом, поступает в резервуар.
3. Пьезометрическую линию для магистрального направления разводящей сети для того случая, когда насос не работает, а водоразбор происходит за счет запаса воды в резервуаре.

Примечания:

Все трубы стальные, чугунные, новые или бывшие в употреблении, асбестоцементные.

При построении пьезометрических линий на продольном профиле водовода и магистрального направления разводящей сети на чертеже показать линию поверхности земли, ниже которой на 2 метра проложены трубы.

В а р и а н т Г; N = ...

Вода из двух шахтных колодцев «А» и «Б» по сифонам 1-2 и 3-4 поступает в сборный колодец «В», откуда по линии 5-6 всасывается насосом «Г» и по водоводу 7-8-9-10 нагнетается в резервуар водонапорной башни «Д». Из башни «Д» по разводящей сети труб вода поступает к пунктам потребления воды 12, 13, 14 и 15 (рисунок. 1.4).

И. Исходные данные

С и ф о н ы 1-2 и 3-4

Отметки поверхности воды в колодцах «А» и «Б» $Z_1=Z_4=100+N \dots$ м.

Длина трубопровода 1-2 $200+2N= \dots$ м.

Длина трубопровода 3-4 $200+2N= \dots$ м.

Длина вертикального участка сифона в колодце «В» – 8м.

Длина вертикального участка сифона в колодцах «А» и «Б» – 2м.

Глубина погружения трубы под уровень воды в колодцах «А» и «Б» – 1м.

Средняя скорость движения воды V от 1.2 до 1.5 м/с.

Наибольший вакуум – 7м водяного столба.

Коэффициенты сопротивления: вход в трубу через сетку $\zeta_c = 2.5$; поворот трубы $\zeta_{п} = 0.3$; выход из трубы $\zeta_{в} = 1$.

В с а с ы в а ю щ а я л и н и я 5-6

Длина трубы $30+0,5N= \dots$ м.

Средняя скорость движения V от 0.8 до 1.2 м/с.

Допускаемый вакуум – 7 м водяного столба.

Коэффициенты сопротивления: приемный клапан с сеткой $\zeta_{кл} = 10$; 5; колено $\zeta_{к} = 0.33$; число колен – 3.

Н а с о с

Коэффициент полезного действия $\eta = 0.60$; 0.70.

Расход воды, подаваемой насосом $Q = 60 + N$, л/с. (Такой же расход проходит по всасывающей линии и по водоводу. По каждой сифонной линии проходит половинный расход).

В о д о в о д 7-8-9-10

№ участка	7-8	8-9	8 ¹ -9 ¹	9-10
Длина участка, м	1000+10N	400+10N	500+10N	500
Диаметр, мм	350	300	200	300

В о д о н а п о р н а я б а ш н я

Отметки поверхности земли $Z_{10} = Z_{11} = 130 + 1.5N$, м.

Высота башни $H_б = 10$ м.

Высота резервуара $H_{рез} = 3$ м.

Р а з в о д я щ а я с е т ь

№ участка	11-12	12-13	12-14	12-15
Длина участка, м.	150 + 2N	200 + 2N	180 + 2N	250 + 2N

Водоразборные точки

№ точек	12	13	14	15
Расход, л/с	$20+0.5N$	$25+0.5N$	$35+0.5N$	$10+0.5N$
Отметки земли, м	$115+1.5N$	$114+1.5N$	$113+1.5N$	$112+1.5N$
Требуемый свободный напор, м	12	10	8	10

II. Состав работы

Расчетная часть

Требуется определить:

1. Диаметр сифонов 1-2 и 3-4.
2. Отметку поверхности воды Z_3 в сборном колодце «В».
3. Отметку Z_2 трубы сифона.
4. Диаметр всасывающей линии 5-6.
5. Отметку Z_6 оси насоса.
6. Напор, развиваемый насосом.
7. Мощность на валу насоса.
8. Диаметры труб разводящей сети

Графическая часть

Построить в масштабе:

1. Пьезометрическую и напорную линии на продольном профиле сифона 1-2.
2. Пьезометрическую линию на продольном профиле водовода.
3. Пьезометрическую линию на продольном профиле магистрального участка разводящей сети.

Примечания:

Все трубы стальные, чугунные, новые или бывшие в употреблении, асбестоцементные.
При построении пьезометрических линий на продольном профиле водовода и магистрального направления разводящей сети на чертеже показать линию поверхности земли, ниже которой на 2 метра проложены трубы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица П2.1 - Варианты заданий

Схемы водоснабжения	№ варианта	Материал труб	Значение N	№ варианта	Материал труб	Значение N
А, Б, В, Г	1	Неновые стальные и чугунные	6	31	Новые стальные	7
	2		8	32		9
	3		10	33		11
	4		12	34		13
	5		14	35		15
	6		16	36		17
	7		18	37		19
	8		20	38		21
	9		22	39		23
	10		24	40		25
	11		26	41		27
	12		28	42		29
	13		30	43		31
	14		32	44		33
	15		34	45		35
	16	Новые чугунные	7	46	Асбесто- цементные	8
	17		9	47		10
	18		11	48		12
	19		13	49		14
	20		15	50		16
	21		17	51		18
	22		19	52		20
	23		21	53		22
	24		13	54		24
	25		25	55		26
	26		27	56		28
	27		29	57		30
	28		31	58		32
	29		33	59		34
	30		35	60		36

ПРИЛОЖЕНИЕ 3**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ВНУТРЕННИХ ДИАМЕТРОВ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

Таблица ПЗ.1 - Величины внутренних диаметров для гидравлического расчета стальных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Условный проход d	Наружный диаметр	Толщина стенки	Внутренний диаметр при данной толщине стенки	Расчетный внутренний диаметр d_p
6	10,2	2,0	6,2	5,2
8	13,5	2,2	9,1	8,1
10	17,0	2,2	12,6	11,6
15	21,3	2,8	15,7	14,7
20	26,8	2,8	21,2	20,2
25	33,5	3,2	27,1	26,1
32	42,3	3,2	35,9	34,9
40	48,0	3,5	41,0	40,0
50	70	2,5	65	64
60	76	2,5	71	70
75/65	89	2,5	84	83
80	102	3,0	96	95
100	121	3,0	115	114
125	140	3,0	134	133
150	168	4,5	159	158
175	180	4,5	171	170
200	219	4,5	210	209
250	273	6,0	261	260
300	325	7,0	311	311
350	377	7,0	363	363
400	426	7,0	412	412
450	480	7,0	466	466
500	530	7,0	516	516
600	630	7,0	616	616
700	720	7,0	706	706
800	820	8,0	804	804
900	920	8,0	904	904
1000	1020	8,0	1004	1004
1200	1220	9,0	1202	1202
1400	1420	10,0	1400	1400
1500	1520	10,0	1500	1500
1600	1620	10,0	1600	1600

По ГОСТ 3262-75 толшины стенок в таблице ПЗ.1 приняты как для «обыкновенных» труб.

Таблица П3.2 - Величины внутренних диаметров для гидравлического расчета чугунных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Условный проход d	Класс ЛА		Класс А	
	Внутренний диаметр	Расчетный внутренний диаметр d_p	Внутренний диаметр	Расчетный внутренний диаметр d_p
75/65	67,6	66,6	-	-
80	83,6	82,6	-	-
100	103,0	102,0	-	-
125	128,2	127,2	-	-
150	153,4	152,4	-	-
175	-	-	-	-
200	203,6	202,6	-	-
250	254,0	253,0	-	-
300	304,4	304,4	-	-
350	-	-	352,4	352,4
400	-	-	401,4	401,4
450	-	-	450,6	450,6
500	-	-	500,8	500,8
600	-	-	600,2	600,2
700	-	-	699,4	699,4
800	-	-	799,8	799,8
900	-	-	899,2	899,2
1000	-	-	998,4	998,4

Таблица П3.3 - Величины внутренних диаметров для гидравлического расчета асбестоцементных водопроводных труб /ГОСТ 539-80, класс ВТ9, тип 1/ (размеры даны в мм)

Условный проход d	Расчетный внутренний диаметр d_p
100	100
150	141
200	189
250	235
300	279
350	322
400	368
500	456

ЛИТЕРАТУРА

1. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. Под ред. Дикаревского В. С. – М.: Учебно-методический центр по образованию на ж.д. тр-те, 2009. – 447 с.
2. Железняков, Г. В. Гидравлика и гидрология: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 376 с.
3. Лупина, Т. А. Гидравлический расчет напорных трубопроводов: Учебное пособие / Т. А. Лупина, К. В. Симонов. – М.: МИИТ, 2008. – 214 с.
4. Лупина, Т. А. Гидравлика и гидрология: Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство «Перо», 2026. – 194 с.
5. Лупина, Т. А. Лабораторные работы и экспериментальные учебные исследования по гидравлике и гидрологии: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательство «Перо», 2021. – 51 с.
6. Лупина, Т. А. Проектирование и расчеты систем водоснабжения: Учебно-методическое пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 39 с.
7. Лупина, Т. А. Расчет неравномерного движения жидкости в открытых руслах в системе *Mathcad*: Методические указания. – М.: МИИТ, 2009. – 44 с.
8. Лупина, Т. А. Экспериментальные учебные исследования по водоснабжению и водоотведению: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательство «Перо», 2022. – 44 с.
9. Матвеев, К. В. Гидравлические расчеты напорных трубопроводов и неравномерного движения воды в открытых руслах: Методические указания. – М.: МИИТ, 1999. – 24 с.
10. Симонов, К. В. Моделирование систем и процессов в железнодорожном строительстве : учебное пособие / К. В. Симонов, А. В. Полянский. – Москва : ООО "Издательство "Мир науки", 2025. – 97 с. – ISBN 978-5-908044-33-2. – DOI 10.15862/71MNNPU25. – EDN DPEHDM.
11. Симонов, К. В. Решение задач планирования железнодорожного строительства с применением системы *Mathcad* / К. В. Симонов, А. В. Полянский ; Московский гос. ун-т путей. сообщ. (МИИТ), Каф. «Орг., технологии и упр. стр-вом». – Москва : МИИТ, 2006. – 225 с. – EDN QRQDRZ.
12. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие. - 11-е изд., дополненное. / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М.: Издательский Дом «БАСТЕТ», 2016. – 428 с.

Лупина Татьяна Авинеровна
Симонов Константин Владимирович

Гидравлический расчет напорных трубопроводов с применением системы Mathcad

Учебное пособие издано в авторской редакции

Сетевое издание

Ответственный за выпуск – Алимова Н.К.

Учебное издание

Системные требования:

операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.

Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 5,4 Мб

Принято к публикации «11» апреля 2026 года

Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/25MNNPU26.pdf> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

<https://izd-mn.com/>

**ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ
НА ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ**