

**НАРУЖНЫЕ ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ
И СООРУЖЕНИЯ**

Правила проектирования

**ЗНАДВОРНЫЯ ВАДАПРАВODНЫЯ СЕТКІ
І ЗБУДАВАННІ**

Правілы праектавання

Издание официальное

**Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Минск 2011**

УДК [69+628.11.001.63](083.74)

МКС 93.025

КП 06

Ключевые слова: водоснабжение, водоводы, водопроводные сети, расчетные расходы, коэффициенты неравномерности водопотребления, режим водопотребления, регулирующие емкости, насосные станции, арматура, пожарные гидранты, гидравлические расчеты, диктующие точки, свободные напоры, дроссельные станции, вакуумные станции, колодцы, камеры, дюкеры

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Водохозяйственное строительство, водоснабжение и водоотведение» (ТКС 05)

ВНЕСЕН главным управлением научно-технической политики и лицензирования Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 7 июня 2010 г. № 204

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 4.01 «Водоснабжение и водоотведение»

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минстройархитектуры, 2011

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Общие положения.....	1
4 Предпроектное обследование системы водоснабжения.....	2
5 Определение расчетных параметров системы подачи и распределения воды	3
5.1 Общие положения.....	3
5.2 Нормы водопотребления.....	3
5.3 Расчетные расходы воды	3
5.4 Требуемое давление	4
6 Сооружения и оборудование водоводов и водопроводных сетей	5
6.1 Водоводы	5
6.2 Запасно-регулирующие емкости.....	7
7 Арматура на водоводах и водопроводных сетях	8
7.1 Запорная арматура	8
7.2 Запорно-предохранительная арматура.....	8
7.3 Водоразборная арматура	9
8 Гидравлические и технико-экономические расчеты водоводов и водопроводных сетей.....	10
8.1 Основные положения	10
8.2 Определение узловых отборов.....	10
8.3 Определение диаметров водоводов	11
8.4 Определение диаметров трубопроводов тупиковых сетей	12
8.5 Расчет гидравлического удара в водоводах и водопроводных сетях	14
8.6 Расчет гидравлического удара при пуске и остановке насосов.....	18
8.7 Расчет заполнения и опорожнения водоводов	21
8.8 Примеры расчетов	24
Приложение А (рекомендуемое) Примерные формы таблиц для сбора исходных данных о системе водоснабжения	25
Приложение Б (справочное) Примеры расчета и номограммы для определения количества переключений на водоводах	29
Приложение В (справочное) Предельные экономические расходы и скорости воды для труб из различных материалов	33
Приложение Г (справочное) Коэффициенты местного сопротивления задвижек и клапанов	37
Приложение Д (справочное) Номограмма для определения скорости распространения ударной волны в трубах с низким модулем упругости.....	38
Приложение Е (справочное) Номограммы для расчета гидравлического удара в водоводах и водопроводных сетях	39
Приложение Ж (справочное) Номограмма для определения продолжительности опорожнения трубопроводов.....	63
Приложение К (справочное) Примеры расчета системы водоснабжения	64
Библиография.....	69

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

НАРУЖНЫЕ ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ
Правила проектирования

ЗНАДВОРНЫЯ ВАДАПРАВODНЫЯ СЕТКІ І ЗБУДАВАННІ
Правілы праектавання

External water supply networks and constructions
Design rules

Дата введения 2011-01-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) устанавливает правила проектирования строящихся и реконструируемых наружных водопроводных сетей и сооружений централизованных и локальных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов и объектов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА):¹⁾

ТКП 45-4.01-31-2009 (02250) Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-32-2010 (02250) Наружные водопроводные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-52-2007 (02250) Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-2.02-138-2009 (02250) Противопожарное водоснабжение. Строительные нормы проектирования

СНБ 1.03.02-96 Состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве

СНБ 4.01.01-03 Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования.

Примечание — При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по Перечню технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства, действующих на территории Республики Беларусь, и каталогу, составленным по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Общие положения

3.1 Проектирование и строительство водоводов, водопроводных сетей и сооружений на них должны осуществляться в соответствии с требованиями ТКП 45-4.01-32, СНБ 1.03.02, СНБ 4.01.01 и других действующих ТНПА.

¹⁾ СНБ имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническими нормативными правовыми актами, предусмотренными Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

3.2 При разработке схем водопроводных сетей, водоводов и сооружений на них следует учитывать возможности:

- использования технических решений по комплексному устройству систем водоснабжения питьевого и производственного назначения;
- объединения отдельных систем водоснабжения одного назначения независимо от их ведомственной принадлежности;
- максимального использования существующих сетей, водоводов и сооружений на них с возможной их реконструкцией;
- ограничения потребления воды питьевого качества промышленными предприятиями на расчетный срок, как правило, до 25 % общей производительности системы питьевого водоснабжения, а на первую очередь — до 30 %.

3.3 При разработке проектной документации на стадиях проектирования архитектурный проект и строительный проект к основным исходным материалам для проектирования водоводов, водопроводных сетей и сооружений на них следует относить:

- задание на проектирование, выданное проектной организации заказчиком и служащее правовой основой для проектирования;
- генеральный план населенного пункта в масштабе 1:5000 или 1:10 000 при разработке схемы системы питьевого водоснабжения;
- топографический план в масштабе 1:500 или 1:1000 (вне застройки) при проектировании водоводов и водопроводных сетей;
- топографический план в масштабе 1:500 при проектировании сооружений системы водоснабжения;
- данные о плотности застройки населенного пункта по отдельным районам;
- данные о водопотреблении промышленными предприятиями;
- данные об инженерно-геологических условиях трасс водоводов, водопроводных сетей, а также площадок под водопроводные сооружения;
- акт выбора трассы водоводов, водопроводных сетей и площадок под сооружения;
- данные об источниках водоснабжения и их местоположении;
- технические условия на инженерное обеспечение сооружений системы водоснабжения.

3.4 Наряду с перечисленными в 3.3 топографическими планами для общего обзора местности и учета сложившейся на ней природной и хозяйственной ситуации может использоваться топографическая основа более мелкого масштаба, а именно: 1:10 000; 1:20 000; 1:25 000 и 1:50 000.

4 Предпроектное обследование системы водоснабжения

4.1 Предпроектное обследование системы водоснабжения должно являться неотъемлемой частью архитектурного и строительного проектов на строительство и (или) реконструкцию системы водоснабжения населенного пункта в целом или отдельных ее объектов (насосных станций, водоводов, магистральных и распределительных сетей, повысительных насосных станций, резервуаров, водонапорных башен).

4.2 Предпроектное обследование должно состоять из сбора исходных данных о системе водоснабжения и, при необходимости, обследования ее в полевых условиях.

4.3 К основным исходным данным о системе водоснабжения следует относить:

- схему водопроводных сетей и водоводов на плане населенного пункта в масштабе 1:5000, 1:10 000, с указанием диаметров, материала труб и года строительства;
- численность проживающего населения по отдельным районам населенного пункта, с указанием районов на схеме водопроводных сетей;
- расположение предприятий на схеме водопроводных сетей и водоводов;
- расположение насосных станций второго подъема, повысительных насосных станций, водонапорных башен, регулирующих (дрессельных) станций, предохранительного оборудования на схеме водопроводных сетей;
- данные по водопотреблению системы водоснабжения по месяцам за последние два года;
- данные по водопотреблению отдельных предприятий по месяцам за последние два года;
- расход электроэнергии по месяцам за последние два года по каждому водозабору и в целом по системе водоснабжения;
- степень охвата абонентов водомерным учетом;
- степень охвата абонентов индивидуальным учетом;

- общее количество вводов, в том числе оборудованных водомерами;
- общее количество водоразборных колонок;
- данные по насосному оборудованию на насосных станциях второго подъема и повысительных насосных станциях;
- данные по напорно-регулирующим емкостям;
- данные по режимам работы насосных станций второго и последующих подъемов по будним и выходным дням;
- график неравномерности водопотребления;
- данные о запасах подземных вод по разведанным месторождениям.

Примерные формы таблиц для сбора исходных данных о системе водоснабжения населенного пункта и водопотреблении промышленного предприятия приведены в приложении А.

4.4 Предпроектное обследование системы в полевых условиях должно включать:

- проведение манометрической съемки водопроводной сети (в характерных точках по основным направлениям движения воды);
- замеры расходов воды и давлений по насосным станциям при проведении манометрической съемки;
- данные по потреблению воды наиболее крупными потребителями (больницами, общежитиями, гостиницами, котельными, центральными тепловыми пунктами и др.).

4.5 На основе данных предпроектного обследования составляется расчетная схема системы подачи и распределения воды. Расчетную схему необходимо составлять не менее чем по трем режимам (максимальному, среднему и в минимальный час) работы системы.

5 Определение расчетных параметров системы подачи и распределения воды

5.1 Общие положения

5.1.1 При определении расчетных расходов необходимо учитывать типы потребителей воды в населенном пункте, количество потребителей воды по этапам развития системы водоснабжения к концу расчетного срока, нормы питьевого водопотребления для всех потребителей и режимы (графики) расходования воды.

5.1.2 Проект водоснабжения каждого объекта должен разрабатываться с учетом этапов строительства системы водоснабжения населенного пункта и перспективного ее развития (на 15–20 лет).

5.2 Нормы водопотребления

5.2.1 Нормы питьевого водопотребления в населенных пунктах следует принимать в зависимости от степени оснащения зданий санитарно-техническим оборудованием по СНБ 4.01.01.

5.2.2 Нормы расхода воды на питьевые нужды и пользование душами на промышленных предприятиях должны приниматься по СНБ 4.01.01 и ТКП 45-4.01-52 дополнительно к питьевому водопотреблению населением.

5.3 Расчетные расходы воды

5.3.1 Расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды населения определяются по СНБ 4.01.01, расчетные расходы воды питьевого качества на производственные нужды промышленных и сельско-хозяйственных предприятий должны определяться на основании технологических данных, а при их отсутствии — по укрупненным нормам, проектам-аналогам.

5.3.2 Расчетные расходы воды на содержание и поение скота, птиц и зверей на животноводческих фермах и комплексах должны приниматься по ведомственным нормативным документам, а при их отсутствии — по СНБ 4.01.01.

5.3.3 Максимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.макс}}$, %, должен распределяться по часам суток для соответствующего максимального часового коэффициента $K_{\text{ч.макс}}$, как приведено в таблице 5.1.

Такое распределение максимального суточного расхода воды следует составлять по результатам фактических расходов воды в действующих водопроводах.

5.3.4 При распределении расхода питьевой воды по часам суток на промышленных предприятиях следует учитывать характер производства, количество смен и их продолжительность, типы цехов, установленное оборудование и другие факторы. Графики режима водопотребления должны определяться технологами предприятий. При отсутствии таких данных распределение суточного расхода воды на производственные нужды ориентировочно может приниматься равномерным в течение времени работы предприятия.

Таблица 5.1

Часы суток	Распределение максимально суточного расхода воды $Q_{сут. макс.}$, %, по часам суток при максимальном часовом коэффициенте неравномерности $k_{ч. макс}$								
	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,7	2,0	2,5
0–1	3,35	3,2	3,0	2,50	2,00	1,50	1,0	0,75	0,6
1–2	3,25	3,1	3,2	2,65	2,10	1,50	1,0	0,75	0,6
2–3	3,30	3,2	2,5	2,20	1,85	1,50	1,0	1,00	0,5
3–4	3,20	3,2	2,6	2,25	1,90	1,50	1,0	1,00	1,9
4–5	3,25	3,2	3,5	3,20	2,85	2,50	2,0	3,00	3,5
5–6	3,40	3,4	4,1	3,90	3,70	3,50	3,0	5,50	3,5
6–7	3,85	3,8	4,5	4,50	4,50	4,50	5,0	5,50	4,5
7–8	4,45	4,6	4,9	5,10	5,30	5,50	6,5	5,50	10,2
8–9	5,20	5,4	4,9	5,35	5,80	6,25	6,5	3,50	8,8
9–10	5,05	5,0	5,6	5,85	6,05	6,25	5,5	3,50	6,5
10–11	4,85	4,8	4,9	5,35	5,80	6,25	4,5	6,00	4,1
11–12	4,60	4,6	4,7	5,25	5,70	6,25	5,5	8,50	4,1
12–13	4,60	4,5	4,4	4,60	4,80	5,00	7,0	8,50	3,5
13–14	4,55	4,4	4,1	4,40	4,70	5,00	7,0	6,00	3,5
14–15	4,75	4,6	4,1	4,60	5,05	5,50	5,5	4,70	2,0
15–16	4,70	4,6	4,4	4,60	5,30	6,00	4,5	5,30	6,2
16–17	4,65	4,4	4,3	4,90	5,45	6,00	5,0	3,50	10,4
17–18	4,35	4,3	4,1	4,80	5,05	5,50	6,5	3,50	9,4
18–19	4,40	4,4	4,5	4,70	4,85	5,00	6,5	6,00	7,3
19–20	4,30	4,5	4,5	4,50	4,50	4,50	5,0	6,00	5,1
20–21	4,30	4,5	4,5	4,40	4,20	4,00	4,5	6,00	1,6
21–22	4,20	4,8	4,8	4,20	3,60	3,00	3,0	3,00	1,0
22–23	3,75	3,8	4,6	3,70	2,85	2,00	2,0	2,0	0,6
23–24	3,70	3,7	3,3	2,70	2,10	1,50	1,0	1,00	0,6

5.3.5 При построении расчетных графиков водопотребления следует исходить из принимаемых в проекте технических решений, исключающих совпадение максимальных отборов воды из сети на различные нужды. Для этого следует предусматривать:

— устройство на крупных промышленных предприятиях регулирующих емкостей, пополняемых по заданному графику;

— подачу воды на поливку территории и на заполнение поливочных машин из специальных регулирующих емкостей или через устройства, прекращающие подачу воды при снижении давления до заданного предела и т. д.

Поливку и мойку покрытий проездов и площадей, а также поливку зеленых насаждений необходимо осуществлять в часы минимального и среднего водопотребления.

Расчетные графики отборов воды на различные нужды, производимых из сети без указанных требований, должны приниматься совпадающими по времени с графиками питьевого водопотребления населением.

5.3.6 Для населенных пунктов расчетный расход воды на тушение пожаров следует принимать по ТКП 45-2.02-138 в зависимости от числа жителей и характера застройки.

5.4 Требуемое давление

5.4.1 В водопроводной сети должно быть обеспечено давление для подъема воды на требуемую высоту, соответствующего излива воды у потребителей в наивысшей водоразборной точке и преодоления сопротивлений от точки подключения к трубе наружной сети до точки излива включительно. Следовательно, требуемое давление в точке ответвления от наружной сети (измеряемое от поверхности земли)

должно равняться сумме нормативного давления воды в точке водоразбора, суммарной потери давления на пути движения воды от наружной сети до водоразборной точки и геодезической разности отметок точки водоразбора и точки подключения к наружной водопроводной сети. Требуемое давление воды $p_{тр}$, МПа, необходимое для нормальной работы водопровода, следует вычислять по формуле

$$p_{тр} = \frac{\rho g H_{гд}}{10^6} + p_t + p_{и}, \quad (5.1)$$

где ρ — плотность воды, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$H_{гд}$ — разность геодезических отметок наивысшей и (или) наиболее удаленной водоразборной (диктующей) точки и точки присоединения к трубе наружной водопроводной сети, м;

p_t — потери давления в трубах, фасонных частях и арматуре на участке от точки присоединения к трубе наружной водопроводной сети до водоразборной точки, МПа;

$p_{и}$ — давление на излив у водоразборной точки, МПа.

5.4.2 Величину нормативного давления следует принимать в зависимости от этажности застройки отдельных районов.

Минимальное нормативное давление в сети водопровода населенного пункта при максимальном питьевом водопотреблении на вводе в здание над поверхностью земли для одноэтажной застройки принимается равным не менее 0,1 МПа; при большей этажности на каждый этаж следует добавлять 0,04 МПа.

В часы минимального водопотребления давление на каждый этаж, кроме первого, допускается принимать 0,03 МПа, при этом должна обеспечиваться подача воды в емкости для ее хранения (водонапорные башни, резервуары).

Для отдельных многоэтажных зданий или их группы, расположенных в районах с меньшей этажностью застройки или на наиболее высоких местах (критические точки), допускается предусматривать местные насосные установки для повышения давления.

Давление в сети у водоразборных колонок должно быть не менее 0,10 МПа.

5.4.3 Требуемое давление в наружной сети в местах ввода на промышленные предприятия должно определяться технологическими требованиями.

Требуемое давление в наружной сети у потребителей не должно превышать 0,60 МПа. При давлении более 0,60 МПа для отдельных зданий или районов следует предусматривать установку регуляторов давления или зонирование системы водоснабжения.

6 Сооружения и оборудование водоводов и водопроводных сетей

6.1 Водоводы

6.1.1 Водоводы, предназначенные для транспортирования воды от водозаборов до сооружений очистки воды, от водозаборов или насосных станций второго и последующих подъемов до водопроводной сети населенного пункта, промышленного узла или отдельного объекта должны обладать необходимой степенью надежности и одновременно удовлетворять требованиям экономичности.

6.1.2 Водоводы по способу транспортирования воды могут быть как напорными, так и напорно-самотечными. Транспортирование воды в напорных водоводах может осуществляться с помощью насосов, а также в результате разницы пьезометрических отметок в источнике и в месте отбора воды. В последнем случае водоводы называются гравитационными напорными или напорно-самотечными.

6.1.3 Количество ниток водовода должно быть, как правило, не менее двух. Количество необходимых переключений между нитками водовода определяется расчетом из условий подачи аварийного расхода воды $Q_{ав}$, м³/с, вычисляемого по формуле

$$Q_{ав} = \rho_0 Q_n, \quad (6.1)$$

где ρ_0 — коэффициент гарантированной подачи воды при аварии; $\rho_0 = 0,7$;

Q_n — подача воды насосами при нормальной работе водовода, м³/с.

При соответствующем обосновании допускается предусматривать водовод в одну нитку.

6.1.4 Количество участков n_1 , на которые должна быть разделена перемычками каждая нитка водовода, следует вычислять по следующим формулам:

— для напорного водовода

$$n_1 = \frac{\rho_0^2 \cdot (2m_1 - 1) \cdot S_B}{m_1^2 \cdot (1 - \rho_0^2) \cdot (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_\Phi + S_K + \frac{S_B}{m_1^2} \right)}; \quad (6.2)$$

— для напорно-самотечного водовода

$$n_1 = \frac{\rho_0^2 \cdot (2m_1 - 1)}{(1 - \rho_0^2) \cdot (m_1 - 1)^2}, \quad (6.3)$$

где m_1 — количество ниток водовода;

S_B — гидравлическое сопротивление одной нитки водовода, $\text{с}^2/\text{м}^5$, определяемое по [1];

S_K — гидравлическое сопротивление коммуникаций насосной станции, $\text{с}^2/\text{м}^5$;

S_Φ — гидравлическое фиктивное сопротивление насосов, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Гидравлическое фиктивное сопротивление одного насоса, $\text{с}^2/\text{м}^5$, вычисляют по формуле

$$S_{\Phi 1} = \frac{10^6}{\rho g} \cdot \frac{p_1 - p_2}{Q_2^2 - Q_1^2}, \quad (6.4)$$

где p_1 и p_2 — давления, МПа, в точках, ограничивающих рабочую область характеристики насоса $p = f(Q)$;

Q_1 и Q_2 — расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$, в точках, ограничивающих рабочую область характеристики насоса $p = f(Q)$.

Если в насосной станции работают несколько однотипных насосов, то гидравлическое фиктивное сопротивление насосов S_Φ вычисляется по формуле

$$S_\Phi = \frac{S_{\Phi 1}}{k_n^2}, \quad (6.5)$$

где k_n — количество однотипных рабочих насосов.

6.1.5 При назначенном количестве переключений коэффициент гарантированной подачи воды при аварии на одном из участков водовода ρ_0 должен вычисляться по формулам:

— для напорного водовода

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{n_1 \cdot (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_\Phi + S_K + \frac{S_B}{m_1^2} \right)}{(2m_1 - 1) + n_1 \cdot (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_\Phi + S_K + \frac{S_B}{m_1^2} \right)}}; \quad (6.6)$$

— для напорно-самотечного водовода

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{n_1 \cdot (m_1 - 1)^2}{(2m_1 - 1) + n_1 \cdot (m_1 - 1)^2}}. \quad (6.7)$$

Для проведения расчетов по формулам (6.2) – (6.7) составлены номограммы, приведенные в приложении Б.

6.1.6 Если требуется увеличить подачу воды $Q_{н.у.}$, $\text{м}^3/\text{с}$, по водоводу от существующей насосной станции с известными характеристиками за счет прокладки дополнительной нитки, то гидравлическое сопротивление этой нитки S_1 , $\text{с}^2/\text{м}^5$, при длине, равной существующему водоводу, вычисляется по формуле

$$S_1 = \left(\frac{S_{в.с} \cdot \sqrt{S_{в.у.}} + S_{в.у.} \cdot \sqrt{S_{в.с}}}{S_{в.с} - S_{в.у.}} \right)^2, \quad (6.8)$$

где $S_{в.с}$ — гидравлическое сопротивление существующего водовода, $\text{с}^2/\text{м}^5$;

$S_{в.у}$ — гидравлическое сопротивление усиленного водовода, $\text{с}^2/\text{м}^5$, которое вычисляется по формуле

$$S_{в.у} = \frac{S_{в.с} - (\alpha_0^2 - 1) \cdot (S_{\phi} + S_{\kappa})}{\alpha_0^2}, \quad (6.9)$$

здесь $\alpha_0 = \frac{Q_{н.у}}{Q_{н}}$ — коэффициент увеличения расхода.

По вычисленному значению S_1 производится определение диаметра труб и длины дополнительной нитки при усилении водовода.

Длину дополнительной нитки $L_{д}$, м, следует вычислять по формуле

$$L_{д} = \frac{(\alpha_0^{\beta} - 1) \cdot (S_{\phi} + S_{\kappa} + S_{в.с})}{\alpha_0^{\beta} \cdot (A_{в} - A_{у.в})}, \quad (6.10)$$

где $A_{в}$, $A_{у.в}$ — соответственно удельное сопротивление труб существующего водовода и дополнительно предусматриваемой нитки, $\text{с}^2/\text{м}^6$, определяемые по [1];

β — показатель степени, зависящий от материала труб; приведен в таблице 8.1.

Потери давления $i_{д}$ вычисляют по формуле

$$i_{д} = \frac{\rho g}{10^6} \cdot k \cdot \frac{Q^{\beta}}{d^m}, \quad (6.11)$$

где Q — расход воды по водоводу, $\text{м}^3/\text{с}$;

d — диаметр труб водовода, м;

k , m — коэффициент и показатель степени, зависящие от материала труб; приведены в таблице 8.1.

6.1.7 Значение экономически более выгодного диаметра труб напорного водовода, вычисленного по формуле (8.5), округляют до ближайшего сортаментного диаметра.

При этом следует определить предельный расход воды по водоводу $Q_{пр}$, $\text{м}^3/\text{с}$, для которого будут экономически равноценными два смежных диаметра труб, — по формуле

$$Q_{пр} = Q \cdot \left(\frac{\Xi_{\phi}}{\Xi} \right)^{\frac{1}{\beta+1}}, \quad (6.12)$$

где Ξ_{ϕ} — экономический фактор для рассматриваемых условий;

Ξ — экономический фактор, принятый при составлении таблиц предельных расходов воды, значения которого приведены в приложении В.

6.2 Запасно-регулирующие емкости

6.2.1 Расположение регулирующих емкостей в системе распределения воды должно обеспечивать:

- более равномерную нагрузку водоводов и магистральных водопроводных сетей;
- равномерную работу насосных станций при оптимальных значениях коэффициента полезного действия (КПД) насосов;

- уменьшение диаметров водоводов и магистральных водопроводных сетей;
- повышение надежности работы системы водоснабжения;
- снижение (при наличии башен) величины давления при возникновении гидравлического удара в системе водоснабжения.

6.2.2 Требуемые параметры регулирующих емкостей следует определять анализируя работу системы подачи и распределения воды при различных режимах водопотребления и сравнивая технико-экономические показатели различных вариантов.

6.2.3 Емкости в системах водоснабжения должны предназначаться для хранения запаса воды, регулирования подачи и расхода воды и обеспечения необходимого давления. В зависимости от расположения в схеме водоснабжения они могут выполнять одно или несколько назначений.

6.2.4 Выбор места расположения, типа и объема емкостей следует производить на основании расчетов совместной работы их с насосными станциями, водоводами и сетью, учитывая местные условия и технологические требования.

6.2.5 Запас воды на промывку фильтров станций водоподготовки следует предусматривать в объеме, определяемом по ТКП 45-4.01-31. Время контакта воды с хлорсодержащими реагентами следует принимать по [2].

6.2.6 Регулирующий объем воды должен определяться по ступенчатым или интегральным графикам поступления и отбора воды, построенным по результатам расчетов совместной работы насосных станций, регулирующих емкостей, водоводов и сети в сутки максимального водопотребления. При отсутствии таких графиков следует пользоваться трехступенчатым графиком согласно СНБ 4.01.01.

7 Арматура на водоводах и водопроводных сетях

7.1 Запорная арматура

7.1.1 В качестве запорной арматуры следует применять задвижки, затворы, а для одностороннего направления движения воды по отдельным участкам водопроводной сети — обратные клапаны.

7.1.2 Запорная арматура на водопроводной сети должна устанавливаться таким образом, чтобы при выключении любого участка водопроводной сети из работы потребители воды в данном месте получали не менее 25 % расчетного расхода воды, а потребители, для которых недопустим перерыв в подаче воды, — получали воду по аварийному графику. Аварийный график должен выдаваться предприятием — потребителем воды при сборе исходных данных на этапе предпроектного обследования системы водоснабжения.

7.1.3 На участках водопроводной сети, где установлены пожарные гидранты, задвижки (затворы) должны быть установлены так, чтобы количество гидрантов при отключении участка не превышало пяти.

7.1.4 Диаметры запорной арматуры следует принимать равными диаметру трубопровода. При соответствующем обосновании допускается установка запорной арматуры на один сортаментный диаметр ниже диаметра трубопровода.

7.1.5 В качестве запорной арматуры, расположенной в пределах ремонтного участка водопроводной сети, следует применять, как правило, задвижки. В начале и конце ремонтного участка водовода и водопроводной сети допускается установка как задвижек, так и затворов.

7.1.6 По требованию заказчика запорная арматура может применяться с гуммированным уплотнением. Такие задвижки следует применять на наиболее ответственных участках водоводов и водопроводных сетей.

7.1.7 Коэффициент гидравлического сопротивления задвижек и затворов ζ определяют по формуле

$$\zeta = \frac{2 \cdot 10^6 \Delta p}{\alpha_1 \rho v^2}, \quad (7.1)$$

где Δp — потери давления, МПа;

α_1 — коэффициент Кориолиса;

v — скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

Значения коэффициентов местного сопротивления задвижек и затворов приведены в приложении Г.

7.2 Запорно-предохранительная арматура

7.2.1 Запорно-предохранительная арматура применяется для впуска и выпуска воздуха при опорожнении и заполнении трубопроводов, для впуска и заземления воздуха при гашении гидравлического удара, вантузы — для выпуска воздуха, обратные клапаны — для пропуска воды по трубопроводу только в одном направлении.

7.2.2 Для автоматического удаления воздуха из водовода, а также для впуска в водовод небольших объемов воздуха должны применяться вантузы.

Вантузы следует устанавливать в повышенных точках водоводов. Для обеспечения наиболее полного удаления воздуха из водоводов вантузы необходимо устанавливать на патрубках-воздухосборниках.

7.2.3 Работоспособность вантузов при условии плавучести шара обусловлена следующим соотношением:

$$10G_{\text{ш}} \geq pS_{\text{отв}}, \quad (7.2)$$

где $G_{\text{ш}}$ — масса шара, кг;

p — внутреннее давление в водоводе, МПа;

$S_{\text{отв}}$ — площадь сечения выпускного отверстия, см².

7.2.4 Расчет клапана для впуска и выпуска воздуха из водовода или водопроводной сети производится по формуле

$$d_y = D_y \cdot \sqrt{\frac{v}{v_b}}, \quad (7.3)$$

где d_y и D_y — соответственно диаметр выпускного патрубка и водовода, мм;

v_b — скорость движения воздуха в выпускном патрубке клапана для впуска и выпуска воздуха, принимаемая 50–100 м/с.

7.2.5 Расчет количества вантузов n_b , обеспечивающих полное удаление воздуха из данной точки водовода, можно производить по формуле

$$n_b = \frac{m_b Q}{100Q}, \quad (7.4)$$

где m_b — содержание нерастворенного воздуха в воде, %, отнесенное к атмосферному давлению при температуре 15 °С (обычно составляет 1 % – 4 % максимального расчетного расхода воды, подаваемого по трубопроводу; для ориентировочных расчетов следует принимать 4 %);

Q_b — пропускная способность вантуза, м³/с.

Пропускная способность вантуза зависит от давления в трубопроводе и принимается по паспортам заводов-изготовителей.

7.2.6 Для снижения величины давления при гидравлическом ударе на водоводах следует предусматривать установку клапанов для впуска и заземления воздуха (далее — КВЗВ), иначе называемых противовакуумными.

Клапаны КВЗВ следует размещать в местах, где в водоводе может образоваться вакуум. Такие места следует определять на основании расчета гидравлического удара при аварийном отключении насосной станции.

7.2.7 Для снижения давления при гидравлическом ударе могут применяться гидроколонны, водонапорные башни, гидропневматические баки, пропуск воды вокруг обратных клапанов с возвращением ее в водоисточник, гасители гидравлического удара различных конструкций, предохранительные диафрагмы.

7.3 Водоразборная арматура

7.3.1 К водоразборной арматуре на водопроводной сети следует относить пожарные гидранты и водоразборные колонки.

7.3.2 Для отбора воды из водопроводной сети при тушении пожаров следует предусматривать гидранты. Расположение гидрантов на водопроводной сети и их установку в колодцах (камерах) выполняют в соответствии с требованиями ТКП 45-02.02-138.

7.3.3 Водоразборные колонки на водопроводной сети следует устанавливать для индивидуального разбора воды населением, проживающим в домах, не оборудованных внутренним водопроводом. Водоразборные колонки должны быть незамерзающими, в колонку не допускается попадание загрязнения из колодца и почвы. При открытии колонки не должно возникать гидравлических ударов в сети. Для нормальной работы колонки давление в сети должно быть не менее 0,1 МПа. Колонки могут быть колодезного и бесколодезного типа. Бесколодезные водоразборные колонки устанавливают в грунт ниже глубины промерзания земли.

Радиус действия водоразборной колонки следует принимать не более 100 м.

Вокруг водоразборной колонки следует предусматривать отмостку шириной 1 м с уклоном 100 % от колонки.

8 Гидравлические и технико-экономические расчеты водоводов и водопроводных сетей

8.1 Основные положения

Гидравлические и технико-экономические расчеты водоводов и водопроводных сетей должны выполняться с учетом решений генерального плана населенного пункта (согласно очередности развития населенного пункта, этажности и плотности застройки, очередности строительства, размещения промышленных предприятий, источников водоснабжения, площадок водопроводных сооружений, зон санитарной охраны источников и сооружений системы водоснабжения).

8.2 Определение узловых отборов

8.2.1 После трассировки магистральную водопроводную сеть следует условно разбить на расчетные участки, а также принять условную схему водоотбора, предусматривающую равномерную отдачу воды сетью.

8.2.2 Для каждого расчетного случая работы водопроводной сети узловые отборы воды $Q_{узл}$, м³/с, вычисляют по формуле

$$Q_{узл} = \frac{1}{2} \cdot q_{уд} \cdot \sum_1^{n_{уч}} L_i + Q_n, \quad (8.1)$$

где $q_{уд}$ — удельный расход воды, м³/(с·м), из водопроводной сети для j -го района, определяемый по формуле

$$q_{уд} = \frac{Q_{пут.j}}{\sum L_j}, \quad (8.2)$$

здесь $Q_{пут.j}$ — суммарный путевой расход воды по j -му району с одинаковой плотностью населения, м³/с;

$\sum L_j$ — суммарная расчетная длина линий по j -му району с одинаковой плотностью населения, м;

$n_{уч}$ — количество участков, примыкающих к узлу;

L_i — расчетная длина каждого участка, примыкающего к узлу, м;

Q_n — сосредоточенный расход воды потребителями в данном узле, м³/с.

8.2.3 В качестве расчетной длины участка водопроводной сети следует принимать:

- при застройке улицы с одной стороны от водопроводной сети — $0,5L_i$;
- при застройке улицы с двух сторон с одинаковой плотностью — L_i ;
- при отсутствии застройки (зеленая зона) участок сети в расчет не принимается;
- при застройке с двух сторон, но с разной плотностью населения (например, многоэтажная и малоэтажная застройка), — половина длины участка для каждого вида застройки.

8.2.4 К расходу $Q_{пут}$ следует относить расход воды на питьевые нужды населения города и на поливку. Значение $Q_{пут}$ можно вычислять по формуле

$$Q_{пут} = Q_{р.с} - \sum Q_n, \quad (8.3)$$

где $Q_{р.с}$ — полный расход воды, потребляемый из водопроводной сети для данного расчетного случая отдельным районом города или целым городом, м³/с;

$\sum Q_n$ — расходы воды, потребляемые крупными потребителями, сосредоточенными в отдельных точках (узлах) водопроводной сети населенного пункта, м³/с.

8.2.5 При зонной системе водоснабжения удельные и узловые отборы следует вычислять отдельно для каждой зоны.

В целом, как для отдельных зон системы водоснабжения, так и для всего населенного пункта должно соблюдаться тождество:

$$\sum_1^{m_{узл}} Q_{узл} = Q_{р.с}, \quad (8.4)$$

где $m_{узл}$ — количество узлов на водопроводной сети.

8.2.6 Значения узловых отборов воды по зонам и в целом по населенному пункту должны оформляться в таблице по форме, приведенной на рисунке 8.1; значения сосредоточенных узловых отборов должны быть оформлены в аналогичной таблице, но с указанием только тех узлов, к которым подключены промышленные предприятия или другие крупные потребители воды.

Номер узла	Узловые расходы, м³/с, в сутки				
	среднего водопотребления	минимального водопотребления	максимального водопотребления		
	Средний час	Минимальный час	Максимальный час	Средний час	Минимальный час

Рисунок 8.1

8.3 Определение диаметров водоводов

8.3.1 Экономически наивыгоднейшим диаметром труб напорных водоводов $d_{\text{э}}$, м, следует считать такой, при котором будут наименьшими приведенные затраты по комплексу взаимосвязанных сооружений (насосная станция и водовод). Этот диаметр можно вычислить по формуле

$$d_{\text{э}} = \mathfrak{A}_1^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot \left(\frac{Q_p}{m} \right)^{\frac{1+\beta}{\alpha+m}}, \quad (8.5)$$

где Q_p — расчетный расход воды по водоводу, м³/с;

β — показатель степени;

$\mathfrak{A}_1$ — экономический фактор, вычисляемый по формулам:

— при учете взаимосвязи с насосной станцией

$$\mathfrak{A}_1 = \frac{9,8mk \cdot \left[\left(\frac{1}{T_{\text{ок}}} + \frac{R_{\text{н}}}{100} \right) \cdot fr + 8760\sigma\gamma \right]}{\eta\alpha b \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}} + \frac{R_{\text{н}}}{100} \right)}; \quad (8.6)$$

— без учета взаимосвязи с насосной станцией

$$\mathfrak{A}_1 = \frac{1000 \cdot 8760\gamma km\sigma}{102\eta\alpha b \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}} + \frac{R}{100} \right)}, \quad (8.7)$$

здесь f — стоимость насосных станций, приходящаяся на 1 кВт установленной мощности, руб/кВт;

r — коэффициент запаса мощности насосного оборудования;

γ — коэффициент неравномерности расходования электроэнергии, вычисляемый по формуле

$$\gamma = \frac{1}{(k_0 k_{\text{сут}} k_{\text{ч}})^3}; \quad (8.8)$$

$k_0, k_{\text{сут}}, k_{\text{ч}}$ — соответственно коэффициенты годовой, суточной и часовой неравномерности водопотребления;

σ — стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч;

η — коэффициент полезного действия насоса;

α — коэффициент и показатель степени в формуле (8.5), а также в формуле (8.9), определяющей строительную стоимость c , руб, за 1 м водопроводной линии диаметром трубы d ,

$$c = a + bd^{\alpha}, \quad (8.9)$$

a — величина, зависящая от вида труб, глубины их укладки и грунтовых условий;

b — коэффициент;

$T_{\text{ок}}$ — срок окупаемости, лет;

$R_{\text{н}}$ — сумма отчислений на амортизацию и текущий ремонт, процент от строительной стоимости насосной станции;

R — сумма годовых амортизационных отчислений (включая отчисления на капитальный ремонт и отчислений на текущий ремонт), процент к строительной стоимости трубопровода.

Численные значения коэффициентов, показателей степени и других переменных, входящих в формулы (8.5) – (8.9), приняты по [1] и приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Материал труб	β	k	m	α	R	b
Сталь	1,900	0,001790	5,100	1,40	4,6	53
Чугун	1,900	0,001790	5,100	1,60	3,3	107
Асбестоцемент	1,850	0,001180	4,890	1,95	7,3	78
Железобетон	1,850	0,001688	4,890	1,30	3,3	100
Пластмасса	1,774	0,001052	4,774	1,95	4,6	150

8.3.2 Усиление водовода для подачи увеличенного расхода от существующей насосной станции с известными характеристиками за счет дополнительной линии следует вычислять по формулам (6.8) – (6.10).

8.4 Определение диаметров трубопроводов тупиковых сетей

8.4.1 В тупиковых сетях, как правило, в конечных точках задаются требуемые давления. Следовательно, требуется определить диаметры трубопроводов всех расчетных участков тупиковой сети при заданном давлении в начале сети или с возможным изменением давления в зависимости от принятого насосного оборудования.

8.4.2 Расход воды $Q_{\text{нв}}$, м³/с, при совместной работе насосов и водоводов следует вычислять по формуле

$$Q_{\text{нв}} = \sqrt{\frac{10^6 p_{\text{ф}} - H_{\text{г}}}{\frac{\rho g}{S_{\text{к}} + S_{\text{в}} + S_{\text{ф}}}}}, \quad (8.10)$$

где $p_{\text{ф}}$ — фиктивное максимальное давление воды, МПа, вычисляемое по равенству

$$p_{\text{ф}} = p_1 + \frac{\rho g}{10^6} \cdot S_{\text{ф1}} Q_1^2 = p_2 + \frac{\rho g}{10^6} \cdot S_{\text{ф1}} Q_2^2, \quad (8.11)$$

$H_{\text{г}}$ — геометрическая высота подъема воды, м.

8.4.3 При работе разнотипных насосов величину $S_{\text{ф}}$ следует вычислять по формуле

$$S_{\text{ф}} = \frac{S_{\text{ф1}} S_{\text{ф2}}}{(\sqrt{S_{\text{ф1}}} + \sqrt{S_{\text{ф2}}})^2}, \quad (8.12)$$

где $S_{\text{ф1}}$, $S_{\text{ф2}}$ — гидравлические фиктивные сопротивления, с²/м⁵, параллельно работающих насосов с разными характеристиками $p = f(Q)$.

8.4.4 Инженерный расчет тупиковой сети должен выполняться в следующей последовательности:

- после трассировки водопроводной сети определяют узловые отборы;
- определяют расчетные расходы воды по участкам;
- по таблицам предельных экономических расходов, приведенных в приложении В, определяют диаметры труб каждого участка;
- определяют по таблицам для гидравлического расчета потери давления на каждом участке;
- вычисляют пьезометрические отметки и величины свободных давлений в каждом узле сети;
- определяют высоту водонапорной башни (если она предусмотрена в схеме) и требуемое давление насосов, питающих водопроводную сеть;

— производят корректировку диаметров участков тех направлений, в концевых узлах которых получились избыточные свободные давления.

8.4.5 Расчет тупиковой сети, приведенный в [3], следует выполнять в следующей последовательности:

а) предварительно назначают, используя таблицы гидравлических расчетов, диаметры труб всех линий сети;

б) производят гидравлический расчет при предварительно назначенных диаметрах труб, которым определяются расходы воды по линиям сети (в случае наличия параллельных линий на отдельных участках тупиковой сети или возможного наличия замкнутых контуров сети); если нет параллельных линий на участках сети или замкнутых контуров в ней, то данный расчет не выполняют, так как расходы по расчетным участкам определяют без гидравлического расчета;

в) для каждого из режимов работы системы производят расчет сети на пропуск фиктивных расходов и определяют фиктивные расходы x , м³/с, для каждой линии при каждом из режимов работы (если их больше одного); при этом потери давления в трубах $\Delta p_{\text{опт. } j}$, МПа, вычисляют по формуле

$$\Delta p_{\text{опт. } j} = \frac{\rho g}{10^6} \cdot k L_j \mathfrak{E}^{\frac{m}{\alpha+m}} Q_j^{\frac{\alpha\beta}{\alpha+m}} x_j^{\frac{m}{\alpha+m}}, \quad (8.13)$$

где L_j — длина участка, м;

Q_j — расход воды по рассматриваемой линии, м³/с;

x_j — фиктивный расход воды, м³/с;

г) вычисляют оптимальные диаметры труб $D_{\text{опт. } j}$, м:

— при одном режиме — по формуле

$$D_{\text{опт. } j} = \mathfrak{E}^{\frac{1}{\alpha+m}} x_j^{\frac{1}{\alpha+m}} Q_j^{\frac{\beta}{\alpha+m}}, \quad (8.14)$$

— при нескольких режимах — по формулам:

$$D_{\text{опт. } j} = \left(\sum_i \mathfrak{E}_i x_{j,i} Q_{j,i}^{\beta} \right)^{\frac{1}{\alpha+m}}, \quad (8.15)$$

$$\mathfrak{E}_i = \frac{m\beta_i}{\alpha b_i}, \quad (8.16)$$

$$\beta_i = \frac{k B_i}{\frac{1}{T_{\text{ок}}} + \frac{R}{100}}, \quad (8.17)$$

$$B_i = \frac{1000 \cdot 365 T_i \gamma_i \sigma_i}{102 \eta_i}, \quad (8.18)$$

где B_i — величина, от которой зависит коэффициент β_i ;

T_i — время работы системы водоснабжения в каждом режиме, ч;

γ_i — коэффициент неравномерности расхода электроэнергии, определяемый по справочной литературе;

σ_i — тариф, по которому оплачивается электроэнергия за i -й режим работы системы водоснабжения, руб/кВт·ч.

При этом значении оптимального диаметра трубы потери давления $\Delta p_{\text{опт. } j, i}$, МПа, в линии j при режиме i вычисляют по формуле

$$\Delta p_{\text{опт. } j, i} = \frac{\rho g}{10^6} \cdot k L_j \cdot \left(\sum_i \mathfrak{E}_i x_{j,i} Q_{j,i}^{\beta} \right)^{\frac{m}{\alpha+m}} \cdot Q_{j,i}^{\beta}; \quad (8.19)$$

д) повторяют операции по перечислению в) при значениях Q , вычисленных при выполнении операций по перечислению г), и находят средние арифметические значения между предшествующими и текущими значениями x ;

е) производят поэтапное округление диаметров труб до стандартных.

8.4.6 Изложенный в 8.4.5 метод возможен только при использовании вычислительной техники. Этот метод рекомендуется применять при определении диаметров участков кольцевых водопроводных сетей.

8.5 Расчет гидравлического удара в водоводах и водопроводных сетях

8.5.1 Гидравлический удар может возникать вследствие мгновенного повышения давления, вызванного внезапным изменением скорости движения воды в трубопроводе.

Основными очагами возникновения гидравлических ударов являются насосы, установленные в насосных станциях, и запорная арматура на водоводах и водопроводных сетях.

8.5.2 Величина давления при гидравлическом ударе должна определяться с учетом характеристики насоса и запорной арматуры, материала труб, их диаметра, длины трубопровода, режима работы водовода, наличия в воде нерастворенных газов, профиля укладки трубопровода и т. д.

Давление воды при прямом гидравлическом ударе p , МПа, может быть вычислено по формуле

$$p = p_0 + \Delta p, \quad (8.20)$$

где p_0 — статическое давление, т. е. давление в данной точке водовода после прекращения движения воды, МПа;

Δp — добавочное давление, обусловленное гидравлическим ударом, МПа; $\Delta p = \frac{\rho c_1 \Delta v}{10^6}$;

c_1 — скорость распространения ударной волны, м/с;

Δv — изменение скорости движения воды в водоводе, м/с, в результате чего изменяется давление; вычисляют по формуле

$$\Delta v = v_0 - v_1, \quad (8.21)$$

здесь v_0 — первоначальная скорость установившегося движения воды, м/с;

v_1 — оставшаяся скорость движения воды, м/с.

При полном прекращении движения воды, когда $v_1 = 0$, тогда $\Delta v = v_0$ и давление при гидравлическом ударе следует вычислять по формуле

$$p = p_0 + \frac{\rho c_1 v_0}{10^6}. \quad (8.22)$$

Если скорость движения воды не замедляется, а, наоборот, ускоряется, например, вследствие резкого открытия крана, то в формулах (8.20) и (8.22) перед вторым членом должен стоять знак минус.

Скорость распространения ударной волны в трубопроводе c_1 , м/с, должна вычисляться в зависимости от упругих свойств воды, текущей по трубе, упругих свойств материала трубы, отношения толщины ее стенок к диаметру и плотности воды по формуле

$$c_1 = \frac{\sqrt{\frac{E_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{\text{ж}} D}{E_{\text{т}} \delta}}}, \quad (8.23)$$

где $E_{\text{ж}}$ — модуль объемной упругости воды, Па; при давлении до 2 МПа и температуре от 10 °С до 15 °С — $E_{\text{ж}} = 2,06 \cdot 10^9$;

$E_{\text{т}}$ — модуль упругой деформации материала труб, Па; для труб из различного материала $E_{\text{т}}$ приведен в таблице 8.2;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность воды; при температуре от 4 °С до 20 °С следует принимать равной 1000 кг/м³;

D — диаметр трубы, м;

δ — толщина стенки трубы, м.

При указанных значениях $E_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ для воды числитель в формуле (8.23) равен 1435.

Таблица 8.2

Материал труб	Модуль упругой деформации $E_{\text{т}}$, 10 ⁹ Па
Сталь	206,0
Чугун	98,0
Асбестоцемент	19,6
Бетон	20,6
Поливинилхлорид (винипласт)	4,0
Полиэтилен высокой плотности	0,9
Полиэтилен низкой плотности	0,3

Для быстрого определения скорости c_1 в зависимости от соотношения D/δ для всего сортамента труб, выпускаемых по действующим ТНПА, допускается использовать графики, представленные на рисунке 8.2.

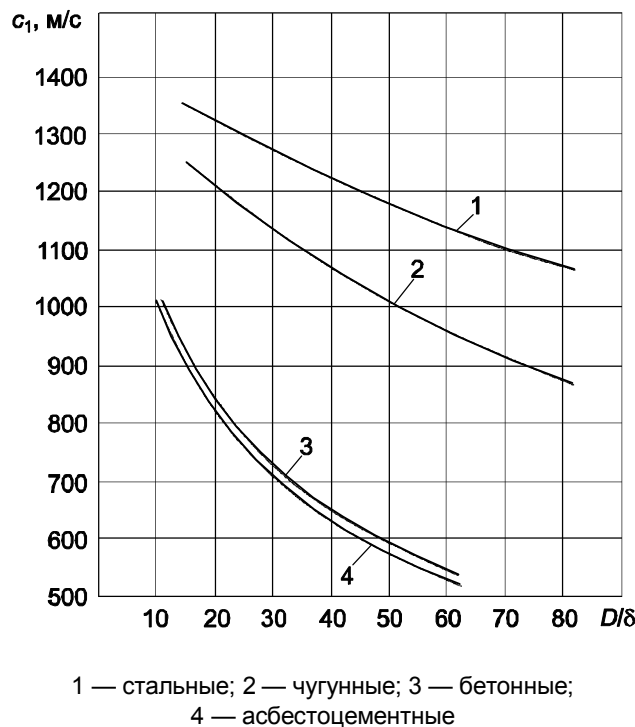


Рисунок 8.2 — Графики зависимости скорости c_1 от соотношения D/δ для труб из различных материалов

8.5.3 Скорость c_1 , м/с, для труб с низким модулем упругости может быть вычислена по формуле

$$c_1 = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{E_{\text{ж}}}{E_{\text{т}}} \cdot \alpha_{\text{п}} \cdot (1 - \nu_{\text{т}}^2)}}, \quad (8.24)$$

где $\nu_{\text{т}}$ — коэффициент Пуассона труб из различных материалов; для полиэтиленовых труб $\nu_{\text{т}}$ изменяется в пределах от 0,32 до 0,50;

$\alpha_{\text{п}}$ — коэффициент, учитывающий упругое обжатие труб грунтом, вычисляемый по формуле

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{2DK}{2K\delta + \frac{E_{\text{г}}}{E_{\text{т}}} \cdot D}, \quad (8.25)$$

здесь K — коэффициент, зависящий от глубины укладки трубопровода, его диаметра и коэффициента Пуассона грунта, вычисляемый по формуле

$$K = \frac{H_{\text{т}}^2 + r^2 + \nu_{\text{г}} \cdot (H_{\text{т}}^2 - r^2)}{(H_{\text{т}}^2 - r^2)}, \quad (8.26)$$

$\nu_{\text{г}}$ — коэффициент Пуассона грунта, принимаемый по таблице 8.3;

$H_{\text{т}}$ — расстояние от поверхности земли до центра трубы, м;

r — радиус трубопровода, м; $r = D/2$;

$E_{\text{г}}$ — модуль упругости грунта, Па, принимаемый по таблице 8.3.

При $H_{\text{т}} = 3D$ формула (8.26) примет вид

$$K = \frac{37 + 35\nu_{\text{г}}}{35} = 1,055 + \nu_{\text{г}}. \quad (8.27)$$

Таблица 8.3

Грунты	Модуль упругости грунта E_r , 10^6 Па	Коэффициент Пуассона грунта ν_r
Гравелистые и крупнообломочные	40	0,27
Песчаные:		
средней крупности	40	0,30
мелкие	30	0,30
пылеватые	12	0,30
Глинистые	20	0,35–0,40

Для определения скорости c_1 в железобетонных трубах можно пользоваться общей формулой (8.23), если в нее подставить $\delta = \delta_p$ (приведенную толщину стенки) и $E_r = E_\delta$ (модуль упругой деформации бетона, равный $20,6 \cdot 10^9$ Па).

Для определения скорости распространения ударной волны в трубах с низким модулем упругости построена номограмма, приведенная в приложении Д.

8.5.4 При прямом гидравлическом ударе, которому соответствуют формулы (8.20) и (8.22), продолжительность изменения скорости движения воды t_3 , с, т. е. время открытия (закрытия) задвижки или время пуска (остановки) насоса, должна быть равна или меньше длительности фазы гидравлического удара, определяемой по формуле

$$\tau_0 = \frac{2L}{c_1}, \quad (8.28)$$

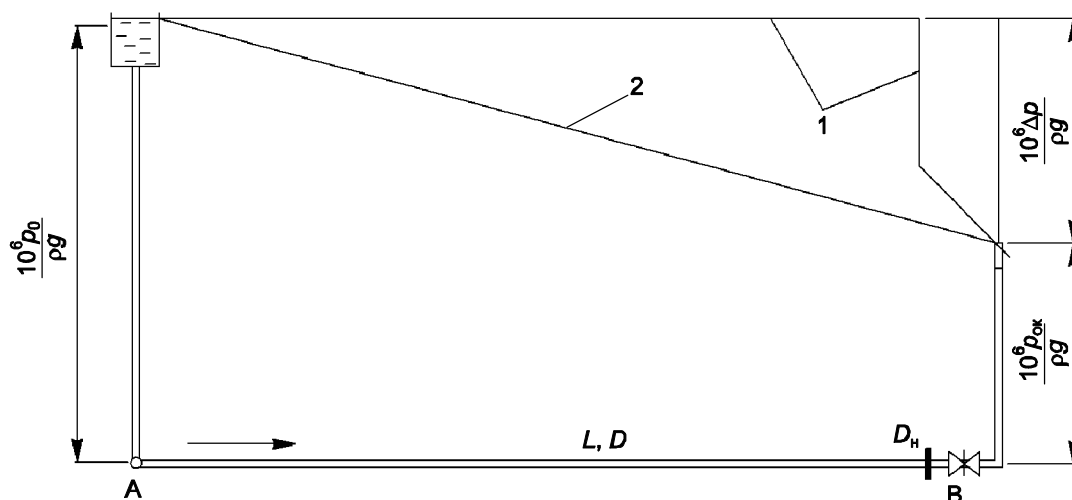
где L — длина трубопровода, м.

При $t_3 > \tau_0$ гидравлический удар принято называть непрямым.

8.5.5 При низконапорных трубах (чугунных класса ЛА, пластмассовых, асбестоцементных) рекомендуется выполнять расчет на допустимость закрытия задвижки на заданный промежуток времени t_3 . Время закрытия задвижки t_3 должно указываться в ее паспорте и в справочниках.

Расчетная схема для определения давления, возникающего при закрытии задвижки в любой точке водовода, приведена на рисунке 8.3.

Для упрощения расчетов предполагается, что все потери давления сосредоточены в конце трубопровода в условной диафрагме D_n и в задвижке, установленной в точке В, и по всей длине водовода рабочее давление $p_p = p_0$.



1 — условная напорная линия; 2 — действительная напорная линия

Рисунок 8.3 — Расчетная схема трубопровода на гидравлический удар при регулировании потока воды задвижкой

8.5.6 Расчет на гидравлический удар рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

8.5.6.1 Определяют скорость распространения ударной волны c_1 .

8.5.6.2 Вычисляют длительность фазы гидравлического удара $\tau_0 = 2L/c_1$ и сравнивают со временем закрытия задвижки t_3 . Если $\tau_0 \geq t_3$, происходит прямой удар и максимальное давление следует определять по формуле (8.22). При $\tau_0 < t_3$ удар не прямой, поэтому давление вычисляют пофазно.

8.5.6.3 Вычисляют число фаз колебаний давления в процессе закрытия задвижки при не прямом ударе по формуле

$$n_{\phi} = \frac{t_3}{\tau_0}. \quad (8.29)$$

8.5.6.4 Для определения давления пофазно при не прямом ударе совместно решают следующие три уравнения:

$$v = -\frac{\rho c_1}{2 \cdot 10^6 K_T} + \sqrt{\left(\frac{\rho c_1}{2 \cdot 10^6 K_T}\right)^2 + \frac{p_0 - p_{ок} + p_m}{K_T} - \frac{2\psi_n}{K_T}}, \quad (8.30)$$

$$\varphi_0 = \frac{\rho c_1}{10^6} \cdot (v_0 - v) - \psi_n, \quad (8.31)$$

$$p_{\phi} = p_0 + \varphi_0 - \psi_n, \quad (8.32)$$

где v — скорость движения воды, которая в течение рассматриваемой фазы принимается постоянной, м/с;

p_0 — давление в начале трубопровода, МПа;

$p_{ок}$ — давление в конце трубопровода при установившемся движении воды, МПа;

p_m — модуль гидравлического удара, МПа, определяемый по формуле

$$p_m = \frac{\rho c_1 v_0}{10^6}; \quad (8.33)$$

K_T — коэффициент гидравлических потерь давления в трубопроводе и задвижке, определяемый по формуле

$$K_T = K_0 + K_1, \quad (8.34)$$

здесь K_0 — коэффициент гидравлических потерь давления в трубопроводе, кг/м³; предполагается равенство коэффициентов гидравлического сопротивления при установившемся и неустановившемся движении воды; вычисляют по формуле

$$K_0 = \frac{\Delta p}{v_0^2}; \quad (8.35)$$

K_1 — коэффициент гидравлических потерь давления в задвижке при разных степенях ее открытия, кг/м³; вычисляют по формуле

$$K_1 = \frac{\rho g}{10^6} \cdot \frac{0,01605}{\left(1 - \frac{x_1}{D}\right)^{2,6837}}, \quad (8.36)$$

x_1 — величина перекрытия отверстия диском задвижки, м;

p_{ϕ} — давление при гидравлическом ударе в конце каждой фазы, МПа;

ψ_n — сумма прямых волн понижения давления, подошедших в рассматриваемый момент к задвижке, МПа;

φ_0 — сумма обратных волн повышения давления, возникающих в рассматриваемый момент у задвижки, МПа.

Для определения давления пофазно по формулам (8.30) – (8.32) разработаны номограммы, приведенные в приложении Е.

8.5.6.5 После определения максимального давления $p_{ф.макс}$ допустимость времени закрытия задвижки t_3 можно оценить, например, по несущей способности труб, исходя из воздействия внутреннего давления в трубе.

Время закрытия задвижки будет достаточно, если соблюдается неравенство

$$p_{\text{пр}} \geq \frac{p_y}{m_i m_k m_p}, \quad (8.37)$$

где $p_{\text{пр}}$ — внутреннее испытательное давление, которому подвергается труба после ее изготовления, Па;

p_y — расчетное внутреннее давление, Па, вычисляемое по формуле

$$p_y = p_p + \Delta p_y, \quad (8.38)$$

здесь p_p — рабочее давление, Па;

Δp_y — добавочное давление, обусловленное гидравлическим ударом, Па, вычисляемое по формуле

$$\Delta p_y = p_{\text{ф.макс}} - p_p, \quad (8.39)$$

$p_{\text{ф.макс}}$ — максимальное давление, полученное при решении уравнений (8.30) – (8.32), МПа;

m_i — коэффициент, учитывающий кратковременность испытания труб; для стальных, чугунных, железобетонных и асбестоцементных труб $m_i = 0,9$, для полиэтиленовых — $m_i = 1$;

m_k — коэффициент, учитывающий коррозию труб; для железобетонных и асбестоцементных труб $m_k = 1$, для стальных и чугунных труб — $m_k = 0,9$, для полиэтиленовых труб из полиэтилена низкой плотности $m_k = 0,36$, для труб из полиэтилена высокой плотности $m_k = 0,33$;

m_p — коэффициент условий работы; для труб, проложенных в труднодоступных местах (вдоль и поперек железнодорожных путей, автомобильных дорог, естественных преград), $m_p = 0,8$.

Испытательное давление $p_{\text{пр}}$, Па, для чугунных, железобетонных, винипластовых и асбестоцементных труб принимается по нормативно-техническим документам и справочникам в зависимости от толщины стенок. Для стальных труб $p_{\text{пр}}$ определяется при решении неравенства

$$p_{\text{пр}} \geq \frac{19,6 \cdot 10^6 \delta_{\text{мин}} R_{\text{рн}}}{D_{\text{н}} - 2\delta_{\text{мин}}}, \quad (8.40)$$

где $\delta_{\text{мин}}$ — минимальная толщина стенки трубы, мм ($\delta_{\text{мин}}$ принимается с учетом минусового допуска);

$D_{\text{н}}$ — наружный диаметр трубы, мм;

$R_{\text{рн}}$ — допускаемое рабочее напряжение, кг/мм² (принимается по нормативно-техническим документам на трубы).

В случае, если условие неравенства (8.37) не соблюдается, необходимо увеличить время t_3 . Если это невозможно, то следует применять противоударную защиту.

8.6 Расчет гидравлического удара при пуске и остановке насосов

8.6.1 Максимальное давление при пуске насоса следует определять по методу пересекающихся характеристик работы насоса и водовода при неустановившемся движении воды.

Для предварительной оценки величины давления $p_{\text{пу}}$, МПа, при гидравлическом ударе при пуске насоса следует пользоваться формулой, не учитывающей потери давления:

$$p_{\text{пу}} = p_0 + \frac{\rho c_1 v_1}{10^6}. \quad (8.41)$$

Формула (8.41) отличается от формулы (8.20) тем, что в ней скорость v_1 является переменной величиной.

Формула (8.42) учитывает потери энергии в водоводе и является достаточно точной для практических расчетов гидравлического удара при пуске насосов.

$$q = 3600 S_{\text{т}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\zeta_1} \cdot \left(\frac{10^6}{\rho g} \cdot p_{\text{пу}} - \frac{\beta_c c_1^2}{\zeta_1 g} - \frac{10^6}{\rho g} \cdot p_c \right) + \frac{2\beta_c c_1^2}{\zeta_1^2 e^{\left[\zeta_1 \frac{10^6}{\rho \beta_c c_1^2} (p_{\text{пу}} - p_c) \right]}}}, \quad (8.42)$$

где q — расход воды, м³/ч;

S_T — площадь живого сечения всех ниток водовода, м²;

ζ_1 — коэффициент гидравлического сопротивления, вычисляемый по формуле

$$\zeta_1 = \frac{2 \cdot 10^6 \Delta p}{\rho v_0^2}, \quad (8.43)$$

здесь Δp — потери давления при установившемся движении воды, вычисляемые по формуле

$$\Delta p = p_p - p_c, \quad (8.44)$$

p_p, p_c — соответственно рабочее и статическое давление, МПа;

β_c — коэффициент количества движения (при расчетах допускается принимать $\beta_c = 1$);

e — основание натурального логарифма, $e = 2,7183$.

На рисунке 8.4 приведены характеристики насоса и трубопровода и прямые, построенные по формулам (8.41) и (8.42).



Рисунок 8.4

Точка А пересечения характеристики трубопровода с характеристикой насоса определяет рабочее давление в водоводе. Точки Б и В пересечения характеристики насоса с прямыми, построенными по формулам (8.41) и (8.42), определяют давления при пуске насоса.

Точка В пересечения прямой, построенной по формуле (8.41), с характеристикой насоса показывает несколько преуменьшенную величину давления при пуске насоса по сравнению с давлением в точке Б, полученной при пересечении характеристики насоса с прямой, построенной по формуле (8.42).

Для предварительных расчетов точность давления, определенного точкой В, вполне достаточна.

8.6.2 Максимальное давление, обусловленное гидравлическим ударом без разрыва сплошности потока в трубопроводе при выключении насоса, вычисляется по формуле

$$p_y = p_c + \frac{\rho c_1 v_0}{10^6} \cdot (2e^{-\varepsilon T} - 1) + \frac{\Delta p_n}{2} \cdot (1 + e^{-\varepsilon T}), \quad (8.45)$$

где ε — коэффициент затухания колебания; определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{10^6 \Delta p_n}{2 \rho v_0 L}, \quad (8.46)$$

здесь Δp_n — потери давления в трубопроводе, МПа;

T — время, с; обычно это продолжительность фазы колебаний гидравлического удара τ_0 , вычисляемого по формуле (8.28); при наличии на водоводе высоких переломных точек отражения волн гидравлического удара может происходить от них, поэтому в таких случаях нужна проверка при

$$T = T_1 = \frac{2L_1}{c_1},$$

L_1 — расстояние от насосной станции до рассматриваемой переломной точки, м.

8.6.3 Для расчета гидравлического удара при выключении насоса с малой инерцией движущихся масс, сопровождаемого разрывом сплошности потока, требуется определять критическое время действия гидравлического удара $\tau_{кр}$ по формуле

$$\tau_{кр} = \frac{k_{ц} \cdot (v_0 - k_{ц} v_k)}{(2k_{ц} + 1) \cdot v_k - v_0}, \quad (8.47)$$

где $k_{ц}$ — целая часть числа, получающегося от деления

$$\frac{v_0}{v_k} = n_0 = k_{ц} + \gamma_d, \quad (8.48)$$

здесь γ_d — дробная часть числа, например, если $v_0 = 1,5$ м/с и $v_k = 0,35$ м/с, то $n_0 = \frac{v_0}{v_k} = \frac{1,5}{0,35} = 4,28$,

следовательно, $k_{ц} = 4$ и $\gamma_d = 0,28$;

v_k — скорость, соответствующая изменению давления на величину $(p_c + p_{в.макс})$, определяемая по формуле Н. Е. Жуковского:

$$v_k = \frac{10^6}{\rho c_1} \cdot (p_c + p_{в.макс}), \quad (8.49)$$

здесь $p_{в.макс}$ — максимальный вакуум в трубах, МПа.

Следует определить номер фазы гидравлического удара $n_{ф}$, в течение которой давление при ударе достигает максимального значения, используя зависимость

$$n_{ф} = n_0 + 1 = \frac{v_0}{v_k} + 1, \quad (8.50)$$

где n_0 — продолжительность периода понижения давления в фазах.

Относительная продолжительность регулирования скорости течения воды τ_3 вычисляется по формуле

$$\tau_3 = \frac{t_{3н}}{\tau_0}, \quad (8.51)$$

где $t_{3н}$ — время регулирования скорости течения, с; при выключении насосов под временем $t_{3н}$ понимается время снижения оборотов двигателя и насоса до нуля; для насосов с малой инерцией движущихся масс — усредненно $t_{3н} = 2,5$ с.

При $\tau_{кр} \geq \tau_3$ максимальное абсолютное давление при гидравлическом ударе следует вычислять по формуле

$$p_{а.макс} = 3 \cdot \frac{\rho c_1 v_k}{10^6} + \frac{\rho c_1 v_k}{2 \cdot 10^6} \cdot (2k_{ц} - n_0) \cdot (1 + \beta_k), \quad (8.52)$$

где β_k — коэффициент, вычисляемый по формуле

$$\beta_k = e^{-\alpha_c n_{ф}} \cdot (1 + 0,5\alpha_c), \quad (8.53)$$

здесь α_c — отношение потерь давления в трубопроводе Δp к модулю гидравлического удара $p_{макс}$, вычисляемое по формуле

$$\alpha_c = \frac{\lambda L v_0}{2 c_1 D}, \quad (8.54)$$

λ — коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода.

При известном $p_{a, \text{макс}}$ максимальное избыточное давление при гидравлическом ударе $p_{и, \text{макс}}$, МПа, вычисляется по формуле

$$p_{и, \text{макс}} = p_{a, \text{макс}} - p_{в, \text{макс}} \quad (8.55)$$

При $\tau_{кр} < \tau_3$ сначала решается относительно τ следующее кубическое уравнение:

$$2 \cdot (\Pi_{3a} - \Pi_{2a}) \cdot \tau^3 - \Pi_{2a} \cdot (\tau_3 + \tau_{кр}) \cdot \tau^2 + \Pi_{2a} \cdot (\tau_3 + \tau_{кр}) \cdot \tau_{кр}^2 = 0, \quad (8.56)$$

где Π_{2a} , Π_{3a} — величины, значения которых определяют соответственно по формулам:

$$\Pi_{2a} = \frac{1}{n_0} + \frac{\beta_k}{n_0} \cdot (2k_c - n_0), \quad (8.57)$$

$$\Pi_{3a} = \frac{2}{n_0} + \frac{0,5}{n_0} \cdot (2k_c - n_0) \cdot (1 + \beta_k). \quad (8.58)$$

Действительные корни уравнения (8.56) должны находиться в диапазоне от $\tau_{кр}$ до τ_3 . Обычно это один корень и обозначается он $\tau_{макс}$.

При известном значении $\tau_{макс}$ максимальное относительное давление $\Pi_{a, \text{макс}}$ при гидравлическом ударе вычисляется по формуле

$$\Pi_{a, \text{макс}} = \Pi_{2a} + 2 \cdot (\Pi_{3a} - \Pi_{2a}) \cdot \frac{\tau_m^2}{\tau_3^2} - \frac{2\Pi_{2a} \cdot (\tau_3 + \tau_{кр}) \cdot (\tau_m - \tau_{кр})^2}{\tau_m \tau_3^2}. \quad (8.59)$$

В этом случае максимальное абсолютное давление $p_{a, \text{макс}}$, МПа, при гидравлическом ударе следует вычислять по формуле

$$p_{a, \text{макс}} = \Pi_{a, \text{макс}} \cdot p_{макс}. \quad (8.60)$$

В случае, когда $\tau_3 > \tau_{кр}$, но отсутствуют действительные корни уравнения (8.56) в диапазоне от $\tau_{кр}$ до τ_3 , то максимальное относительное давление рекомендуется вычислять по следующим формулам:

$$\Pi_{a, \text{макс}} = \Pi_{2a} + 2 \cdot (\Pi_{3a} - \Pi_{2a}) \cdot \frac{\tau_{кр}^2}{\tau_3^2}, \quad (8.61)$$

$$\Pi_{a, \text{макс}} = 2\Pi_{3a} - \Pi_{2a} - \frac{2\Pi_{2a} \cdot (\tau_3 + \tau_{кр}) \cdot (\tau_3 - \tau_{кр})^2}{\tau_3^3}. \quad (8.62)$$

Для определения максимального избыточного давления по формулам (8.60) и (8.55) следует выбирать большее из значений $\Pi_{a, \text{макс}}$, вычисленных по формулам (8.61) и (8.62).

Для расчета гидравлического удара по формулам, приведенным в 8.6.2 и 8.6.3, следует пользоваться номограммами, приведенными в приложении Е.

8.7 Расчет заполнения и опорожнения водоводов

8.7.1 Магистральные водоводы, имеющие сложный профиль, необходимо оборудовать впускно-выпускными клапанами — вантузами, которые следует устанавливать в верхних точках переломов профиля.

8.7.2 На самых низких отметках в местах перелома профиля магистрального трубопровода следует устанавливать выпуски для опорожнения трубопровода.

8.7.3 При опорожнении трубопровода в повышенных точках значение возникающего вакуума не должно превышать установленного предела.

8.7.4 Воздушное отверстие клапана для впуска и выпуска воздуха или большое отверстие комбинированного вантуза должно рассчитываться по условиям обеспечения впуска воздуха при опорожнении трубопровода от воды в течение установленного времени и по условиям выпуска его при наполнении трубопровода после ремонта.

8.7.5 Согласно ТКП 45-4.01-32 водоводы и водопроводные сети следует укладывать с уклоном не менее 1 ‰ по направлению к выпуску; при плоском рельефе допускается уменьшать уклон до 0,5 ‰. Диаметры выпусков и устройств для впуска и выпуска воздуха должны обеспечивать опорожнение участков водоводов и сети в течение не более 2 ч.

8.7.6 На повышенных точках водовода должны устанавливаться вантузы с диаметром воздушных отверстий 5–20 мм без расчета.

8.7.7 Выпуски, предназначенные для промывки трубопровода, должны обеспечивать возможность создания в нем скорости на 10 % больше расчетной. При гидропневматической промывке скорость течения смеси должна быть на 20 % больше максимальной скорости воды при эксплуатации водоводов.

8.7.8 В зависимости от продольного профиля водовода для расчета выпусков на рисунке 8.5 приведены три наиболее характерные схемы.

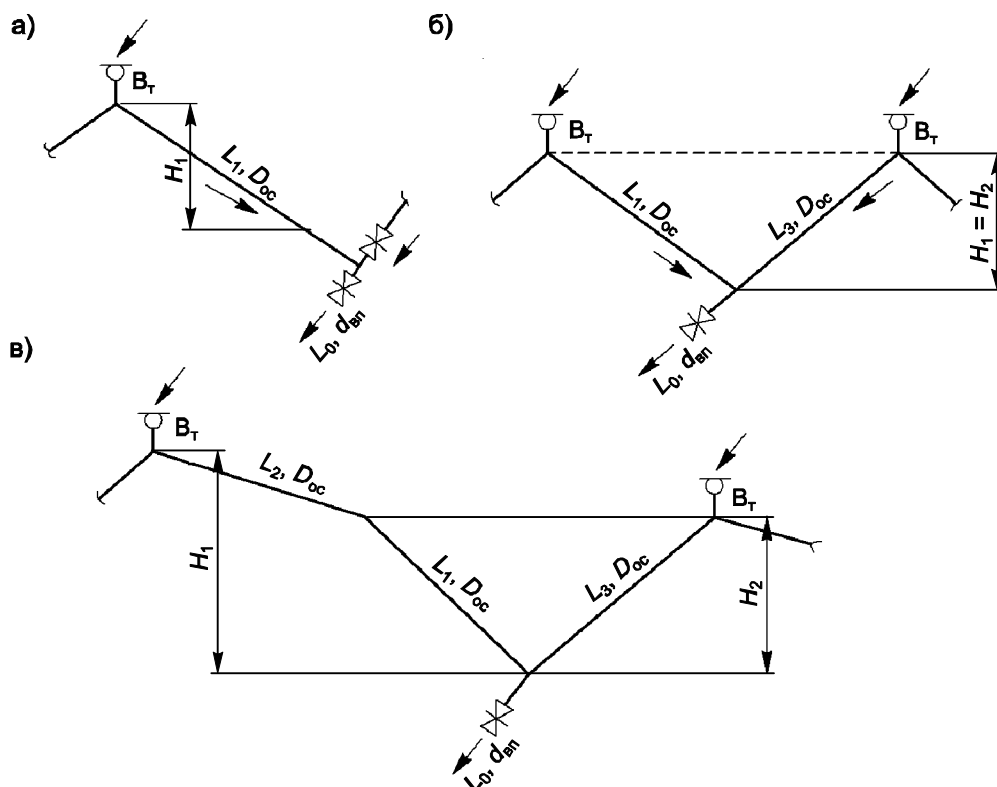


Рисунок 8.5 — Схемы выпусков при опорожнении трубопроводов:
 а — выпуск из одного примыкающего к выпуску участка;
 б — выпуск из двух примыкающих к выпуску участков;
 в — выпуск из двух примыкающих к выпуску участков при разной высоте их наполнения

Скорость течения воды в ответвлениях выпусков $v_{вп}$, м/с, вычисляется по формуле

$$v_{вп} = v_{оп} \cdot \left(\frac{D_{oc}}{d_{вп}} \right)^2, \quad (8.63)$$

где $v_{оп}$ — скорость движения воды в опорожняемом участке трубопровода, м/с;
 D_{oc} — диаметр основного трубопровода, м;
 $d_{вп}$ — диаметр выпуска, м.

Начальная максимальная скорость v_b , м/с, в основном трубопроводе при его опорожнении в зависимости от схемы, показанной на рисунке 8.5, может вычисляться по формулам:

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5а),

$$v_b = \sqrt{\frac{H_1}{a_0 + b_0 H_1}}; \quad (8.64)$$

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5б),

$$v_B = \sqrt{\frac{H_1}{c_0 + b_0 H_1}}; \quad (8.65)$$

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5в),

$$v_B = \sqrt{\frac{H_1}{a_0}}, \quad (8.66)$$

где H_1 — высота наполнения основного трубопровода, м.

Значения величин a_0 , b_0 и c_0 вычисляют по формулам:

$$a_0 = \frac{\left(\frac{D_{oc}}{d_{вп}}\right)^4 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_0 L_0}{d_{вп}} + \zeta_0\right)}{2g}, \quad (8.67)$$

$$b_0 = \frac{\lambda L_1}{2g D_{oc} H_1}, \quad (8.68)$$

$$c_0 = \frac{k_c^2 \cdot \left(\frac{D_{oc}}{d_{вп}}\right)^4 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_0 L_0}{d_{вп}} + 2\zeta_0\right)}{2g}, \quad (8.69)$$

где k_c — коэффициент, вычисляемый по формуле

$$k_c = 1 + \frac{L_3}{L_1}, \quad (8.70)$$

здесь L_3 — длина обслуживаемого выпуском участка основного трубопровода, м;

L_0 — длина отверстия;

L_1 — длина обслуживаемого выпуском участка основного трубопровода, м;

λ_0 и λ_1 — соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления по длине выпуска и основного трубопровода;

ζ_0 — коэффициент местных потерь при входе в тройник.

Время опорожнения t , с, основного трубопровода для каждой из схем опорожняемого трубопровода, показанных на рисунке 8.5, следует определять по формулам:

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5а),

$$t = 2\sqrt{a_0} \cdot \frac{L_1}{\sqrt{H_1}}; \quad (8.71)$$

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5б),

$$t = 2\sqrt{c_0} \cdot \frac{L_1}{\sqrt{H_2}}; \quad (8.72)$$

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5в),

$$t = 2\sqrt{a_0} \cdot \frac{L_2}{H_1} \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) + 2\sqrt{c_0} \cdot \frac{L_1}{\sqrt{H_2}}. \quad (8.73)$$

Для определения продолжительности опорожнения трубопровода в зависимости от его длины, диаметра, диаметра выпуска и его длины и высотного положения опорожняемых участков трубопровода (H_1 , H_2 , $k_n = H_1/H_2$) следует пользоваться номограммами, приведенными в приложении Ж.

8.7.9 Диаметр выпуска $d_{вп}$, м, можно определять приближением для каждой из схем опорожняемого трубопровода, показанного на рисунке 8.5, по формулам:

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5а),

$$d_{\text{вп}} = \sqrt{\frac{2D_{\text{ос}}^2 L_1}{\mu t \cdot \sqrt{2gH_1}}}; \quad (8.74)$$

— для схемы, приведенной на рисунке 8.5б),

$$d_{\text{вп}} = \sqrt{\frac{2D_{\text{ос}}^2 \cdot (L_1 + L_3)}{\mu t \cdot \sqrt{2gH_2}}}, \quad (8.75)$$

где μ — коэффициент водовыпускного отверстия; $\mu \approx 0,62$.

8.7.10 Для схемы, показанной на рисунке 8.5в), диаметр выпуска следует принять, а затем проверить время опорожнения по формуле (8.73). Оно не должно превышать 2 ч.

8.7.11 Диаметр отверстия воздушного клапана или большего отверстия комбинированного вантуза $d_{\text{в.к}}$, м, должен определяться по формуле

$$d_{\text{в.к}} = D_{\text{в}} \cdot \sqrt{\frac{v_{\text{макс}}}{v_{\text{вз}}}}, \quad (8.76)$$

где $D_{\text{в}}$ — диаметр водовода, м;

$v_{\text{вз}}$ — скорость движения воздуха в отверстии клапана, м/с;

$v_{\text{макс}}$ — наибольшая скорость течения воды в водоводе при его наполнении или опорожнении, м/с.

8.7.12 Диаметр $d_{\text{в.к}}$ должен определяться для двух случаев — при наполнении и опорожнении водовода. Величина диаметра должна приниматься большей из полученных. Возможно вместо диаметра $d_{\text{в.к}}$ для дальнейших расчетов использовать величину площади воздухо-выпускного отверстия F_0 , тогда формула (8.76) принимает вид

$$F_0 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{v}{v_{\text{вз}}}. \quad (8.77)$$

8.7.13 Скорость выхода воздуха или входа его в трубопровод через отверстие клапана $v_{\text{вз}}$, м/с, рекомендуется принимать от 40 до 50 м/с.

8.7.14 Для проведения гидравлического и технико-экономического расчета водоводов и водопроводных сетей следует использовать программы для вычислительной техники, которые прошли тестирование.

8.8 Примеры расчетов

В приложении К приведены примеры:

- определения качества переключений на водоводе;
- расчета усиления водовода;
- определения продолжительности опорожнения ремонтного участка водовода;
- расчета водопроводной сети.

Приложение А
(рекомендуемое)

**Примерные формы таблиц для сбора исходных данных
о системе водоснабжения**

Таблица А.1 — Исходные данные для проектирования системы водоснабжения

Наименование исходных данных	Стадии проектирования				Примечание
	Обоснование инвестиций в строительство объектов (схема)*	Архитектурный проект «А» (проект)*	Утверждаемая архитектурная часть строительного проекта «АС» (утверждаемая часть рабочего проекта)*	Строитель- ный проект «С» (рабочая документа- ция, рабочий проект)*	
Задание на проектирова- ние	+	+	+	+	—
Акт выбора площадки, во- додоводов, сетей и коммуни- каций, согласованный со всеми заинтересованными инстанциями	—	+	+	+	С приложением выкопиров- ки из генпла- на населенно- го пункта или прилежающе- го района
Решение исполкома о пло- щадке строительства и об отводе земли	—	+	+	+	—
Архитектурно-планировоч- ное задание	—	+	+	+	—
Схема отвода участка с на- несением красных линий, согласованная с главным архитектором города	—	+	+	+	—
Инженерно-геодезическая съемка площадки и трасс водопроводов и сетей с пре- доставлением поперечных разрезов в местах их пе- ресечения с автодорож- ными и железнодорожны- ми путями, водными пре- градами	—	—	+	+	—
Инженерно-геологические изыскания по трассам и пло- щадкам	—	—	+	+	—
Справка-согласование на материал труб сетей и водо- водов	—	+	+	+	Выдается за- казчиком
План существующих сетей и сооружений	+	+	+	+	То же

Продолжение таблицы А.1

Наименование исходных данных	Стадии проектирования				Примечание
	Обоснование инвестиций в строительство объектов (схема)*	Архитектурный проект «А» (проект)*	Утверждаемая архитектурная часть строительного проекта «АС» (утверждаемая часть рабочего проекта)*	Строитель- ный проект «С» (рабочая документа- ция, рабочий проект)*	
Возможность расширения площадки насосной стан- ции второго подъема	—	+	+	+	Выдается за- казчиком
Заключение органов сани- тарноэпидемиологическо- го надзора на строитель- ство насосной станции вто- рого подъема и водоводов	—	+	+	+	То же
Технические условия об- ластного управления МЧС Республики Беларусь по гражданской обороне	—	—	+	+	“
Заключение органа пожар- ного надзора	—	—	+	+	“
Справка-лимит на топливо	—	+	+	+	“
Технические условия на па- раллельную прокладку водо- водов вдоль железной до- роги и ее пересечение	—	+	+	+	“
Технические условия на пе- ресечение каналов мелио- ративной системы	—	+	+	+	“
Технические условия на пе- ресечение судоходных рек	—	+	+	+	“
Технические условия на сброс бытовых сточных вод с площадки насосной стан- ции в городскую канали- зацию или водонепрони- цаемый выгреб	—	+	+	+	“
Технические условия на переливные и дренажные воды с площадки насосной станции второго подъема	—	+	+	+	“
Технические условия на электроснабжение	+	+	+	+	“
Технические условия на теплоснабжение	+	+	+	+	“
Технические условия на телефонизацию	—	+	+	+	“
Технические условия на радиофикацию	—	+	+	+	“

Окончание таблицы А.1

Наименование исходных данных	Стадии проектирования				Примечание
	Обоснование инвестиций в строительство объектов (схема)*	Архитектурный проект «А» (проект)*	Утверждаемая архитектурная часть строительного проекта «АС» (утверждаемая часть рабочего проекта)*	Строитель- ный проект «С» (рабочая документа- ция, рабочий проект)*	
Технические условия Гос- автоинспекции Республи- ки Беларусь	—	+	+	+	Выдается за- казчиком
Технические условия на дождевую канализацию	—	+	+	+	То же
Технические условия об- ластного управления сель- ского хозяйства по рекуль- тивации земли	—	—	+	+	“
Временные технические условия на обеспечение стройки водой и электро- энергией	—	—	+	+	“
Справка о компенсации ущерба, нанесенного в свя- зи с постоянным и времен- ным отчуждением земли	—	—	+	+	“
Оценочные акты со стои- мостью сносимых де- ревьев и кустарников	—	—	+	+	“
Справка о стоимости 1 га отчуждаемых земель	—	—	+	+	“
Справка о доставке и вы- возе грунта и мусора в про- цессе строительства	—	—	+	+	“
* Стадии разработки проектной документации приведены в соответствии с ранее действующей законода- тельной и нормативной базой и терминологией, применяемой за рубежом.					
<i>Примечание</i> — Знак «+» обозначает, что данная документация требуется; знак «—» обозначает, что данная документация не требуется.					

Таблица А.2 — Исходные данные о водопотреблении промышленного предприятия

Наименование исходных данных	Этапы развития			Примечание
	Существующее положение	20 ____ г.	20 ____ г.	
Общая характеристика предприятия				
Наименование:				
Адрес:				
Вид продукции				
Объем выпускаемой продукции: по валу, млн руб. в год по номенклатуре, шт. (м³)				

Окончание таблицы А.2

Наименование исходных данных	Этапы развития			Примечание
	Существующее положение	20 __ г.	20 __ г.	
Число рабочих дней в году				
Количество смен				
Продолжительность смены, ч				
Количество работающих, чел всего в том числе в максимальную смену				
Количество работающих в горячих и за- грязненных цехах, чел всего в том числе в максимальную смену				
Количество душевых сеток, шт.				
Объем наибольшего здания и наличие фонарей на здании, м ³				
Наличие оборотной системы водоснаб- жения				
Расход воды питьевого качества, м ³ /с: а) на питьевые нужды: в сутки максимального водопотреб- ления в час максимального водопотребления в час минимального водопотребления б) на производственные нужды: в сутки максимального водопотреб- ления в час максимального водопотребления в час минимального водопотребления в) на тушение пожаров: внутреннее тушение наружное тушение				
Суточный расход воды питьевого ка- чества, м ³ /сут.: из городского водопровода из собственных скважин				
Свободное требуемое давление, МПа, при: хозяйственном водопотреблении водопотреблении на производственные нужды внутреннем тушении пожаров				

Технический руководитель предприятия

подпись

расшифровка подписи

Приложение Б (справочное)

Примеры расчета и номограммы для определения количества переключений на водоводах

Пример Б.1

Определить количество переключений на водоводе из двух ниток, протяженностью 5000 м каждая, диаметром 400 мм из новых чугунных труб при обеспечении подачи воды в период аварии не менее 70 % от расчетного расхода воды: $Q_p = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}$.

На насосной станции в начале водовода установлены четыре насоса марки Д 500-65 (два рабочих, $k_n = 2$, и два резервных).

Определим количество переключений на водоводе с учетом параметров насосного оборудования и коммуникаций в насосной станции по номограммам, приведенным на рисунках Б.1 – Б.3.

Из рабочей области насоса марки Д 500-65 ($D_k = 455 \text{ мм}$) выбираем две точки:

первая точка — $Q_1 = 0,972 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_1 = 75 \text{ м}$;

вторая точка — $Q_2 = 0,1667 \text{ дм}^3/\text{с}$; $H_2 = 58 \text{ м}$.

По номограмме на рисунке Б.1 определяем: $S_{\Phi 1} = 927,0$. При двух рабочих насосах $S_{\Phi} = 927/4 = 231,8$.

Гидравлическое сопротивление одной нитки водовода определяем по [1]. $S_b = 1003,8$.

Потери давления в коммуникациях насосной станции принимаем равным 0,03 МПа, тогда

$$S_k = \frac{0,03 \cdot 100}{0,35^2} = 24,5 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Количество участков, на которые должна быть разделена перемычками каждая нитка водовода, определяется по номограммам на рисунках Б.2 и Б.3. По номограмме на рисунке Б.2 определяем:

$$A = \frac{S_b}{\frac{S_{\Phi 1}}{k_n^2} + S_k + \frac{S_b}{m_1^2}} = 1,98,$$

а по номограмме на рисунке Б.3 определяем количество переключений: $n_1 = 1,5$.

Принимаем $n_1 = 2$. При аварии на одном из участков водовода подача воды составит 76,0 % от расчетной величины.

Пример Б.2

Определим количество переключений на напорно-самотечном водоводе при исходных данных, приведенных в примере Б.1.

$$A = m_1^2 = 2^2 = 4.$$

По номограмме на рисунке Б.3 определяем количество участков, на которые должен быть разбит переключениями водовод: $n_1 = 2,85$. Принимаем три участка, т. е. два переключения.

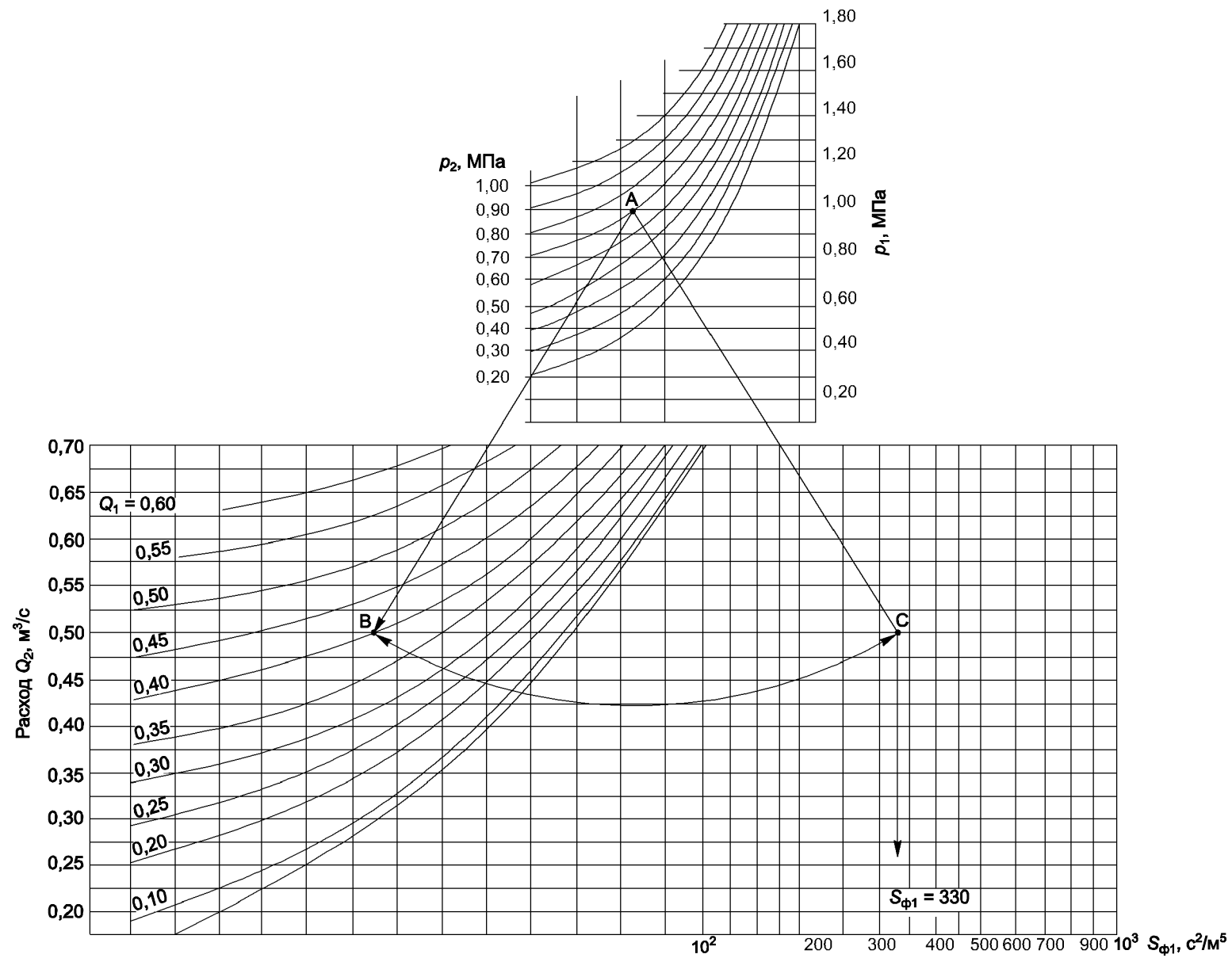


Рисунок Б.1 — Номограмма для определения гидравлического сопротивления $S_{\Phi 1}$ насоса по формуле (6.4)

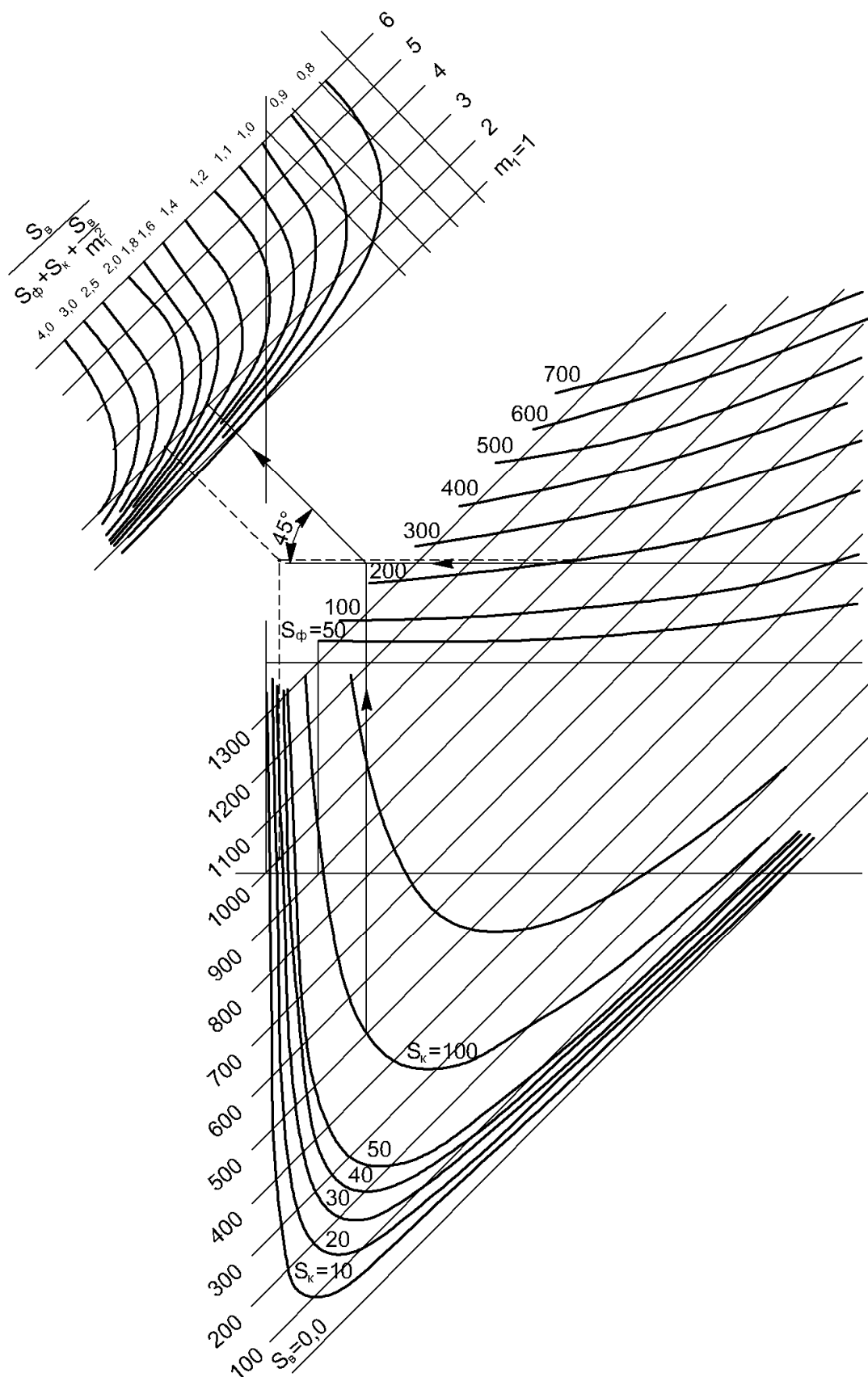


Рисунок Б.2 — Номограмма для определения значения величины $S_\phi + S_k + \frac{S_B}{m_1^2}$,
входящей в формулу (6.2)

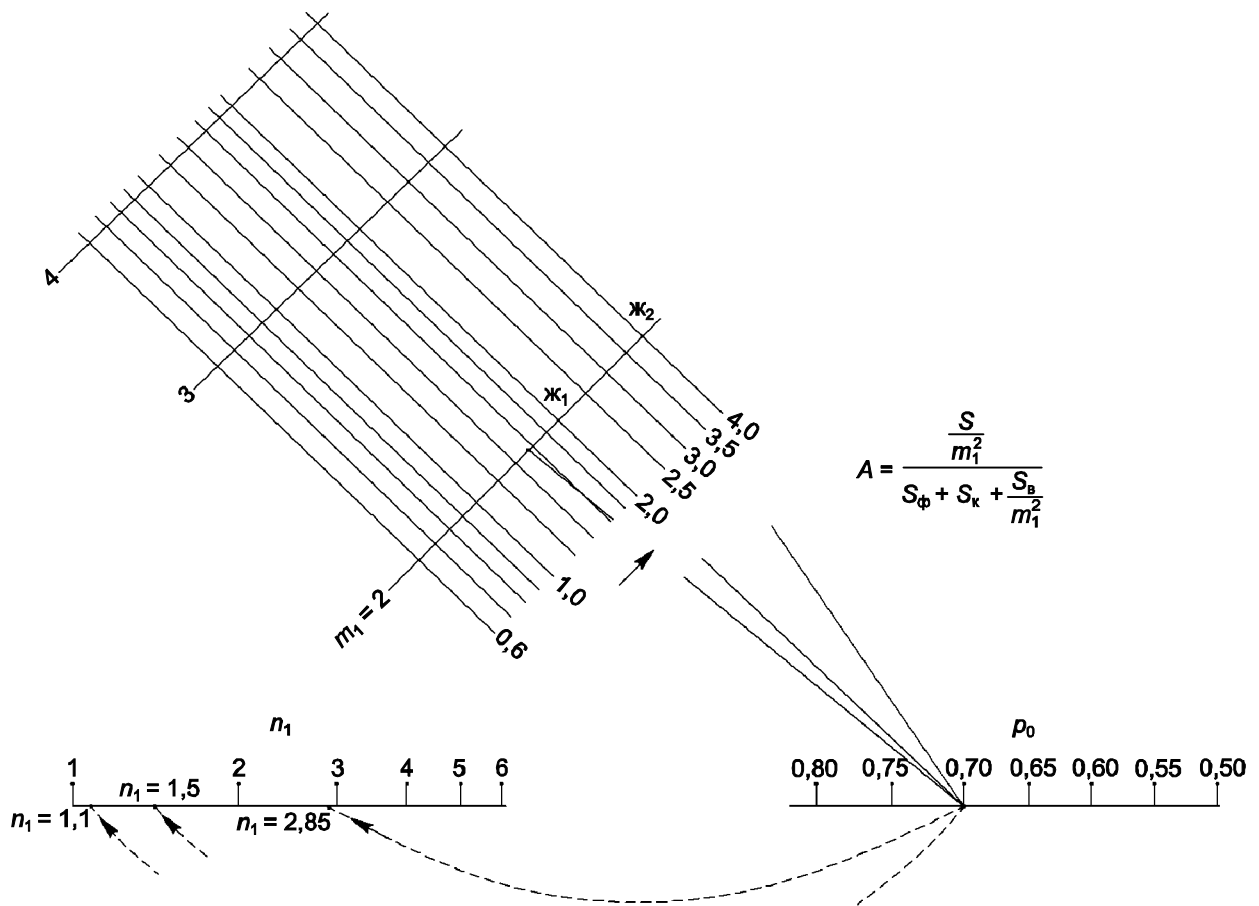


Рисунок Б.3 — Номограмма для проведения вычислений по формулам (6.2), (6.3), (6.6) и (6.7)

Приложение В
(справочное)

Предельные экономические расходы и скорости воды для труб из различных материалов

Таблица В.1 — Предельные экономические расходы и скорости воды для стальных труб

Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
100,0	106,0	0,0–15,6	0,00–1,77	0,0–12,3	0,00–1,40	0,0–10,7	0,00–1,21	0,0–9,7	0,00–1,10
150,0	158,0	15,6–33,9	1,04–1,73	12,3–26,7	0,82–1,36	10,7–23,2	0,71–1,18	9,7–21,0	0,65–1,07
200,0	206,0	33,9–59,6	1,09–1,79	26,7–46,9	0,86–1,41	23,2–40,8	0,74–1,22	21,0–36,9	0,67–1,11
250,0	260,0	59,6–95,2	1,25–1,79	46,9–75,0	0,98–1,41	40,8–65,2	0,86–1,23	36,9–59,0	0,77–1,11
300,0	311,0	95,2–157,0	1,02–2,07	75,0–123,6	0,81–1,63	65,2–107,5	0,70–1,42	59,0–97,3	0,63–1,28
400,0	412,0	157,0–279,6	1,32–2,10	123,6–220,1	1,04–1,65	107,5–191,4	0,90–1,44	97,3–173,3	0,82–1,30
500,0	516,0	279,6–441,7	1,47–2,11	220,1–347,8	1,16–1,66	191,4–302,4	1,01–1,45	173,3–273,8	0,91–1,31
600,0	616,0	441,7–630,3	1,61–2,12	347,8–496,3	1,27–1,67	302,4–431,6	1,10–1,45	273,8–390,8	1,00–1,31
700,0	706,0	630,3–850,1	1,63–2,17	496,3–669,4	1,28–1,71	431,6–582,0	1,12–1,49	390,8–527,1	1,01–1,35
800,0	804,0	850,1–1122,7	1,72–2,21	669,4–884,0	1,35–1,74	582,0–768,6	1,18–1,51	527,1–696,1	1,07–1,37
900,0	904,0	1122,7–1441,4	1,79–2,25	884,0–1135,0	1,41–1,77	768,6–986,9	1,23–1,54	696,1–893,7	1,11–1,39
1000,0	1004,0	1441,4–1969,1	1,57–2,49	1135,0–1550,5	1,23–1,96	986,9–1348,2	1,07–1,70	893,7–1220,9	0,97–1,54
1200,0	1202,0	1969,1–2867,1	1,83–2,53	1550,5–2257,6	1,44–1,99	1348,2–1963,0	1,26–1,73	1220,9–1777,6	1,14–1,57
1400,0	1400,0	2867,1–3698,3	2,20–2,40	2257,6–2912,0	1,73–1,89	1963,0–2532,1	1,51–1,65	1777,6–2292,9	1,37–1,49
1500,0	1500,0	3698,3–4296,2	2,11–2,43	2912,0–3382,8	1,66–1,92	2532,1–2941,4	1,45–1,67	2292,9–2663,6	1,31–1,51
1600,0	1600,0	4296,2–4943,9	2,15–2,46	3382,8–3892,9	1,70–1,94	2941,4–3384,9	1,48–1,68	2663,6–3065,2	1,34–1,53

Таблица В.2 — Предельные экономические расходы и скорости воды для чугунных труб

Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
100,0	102,0	0,0–12,5	0,00–1,53	0,0–9,8	0,00–1,20	0,0–8,5	0,00–1,05	0,0–7,7	0,00–0,95
150,0	152,4	12,5–28,3	0,86–1,55	9,8–22,3	0,68–1,22	8,5–19,4	0,59–1,06	7,7–17,5	0,54–0,96
200,0	202,6	28,3–51,3	0,99–1,59	22,3–40,4	0,78–1,25	19,4–35,1	0,68–1,09	17,5–31,8	0,62–0,99
250,0	253,0	51,3–82,2	1,10–1,64	40,4–65,0	0,87–1,29	35,1–56,5	0,75–1,12	31,8–51,1	0,68–1,02
300,0	304,4	82,5–138,7	0,94–1,91	65,0–109,2	0,74–1,50	56,5–94,9	0,65–1,31	51,1–86,0	0,59–1,18
400,0	401,4	138,7–248,7	1,22–1,97	109,2–195,8	0,96–1,55	94,9–170,3	0,84–1,35	86,0–154,2	0,76–1,22
500,0	500,8	248,7–397,9	1,37–2,02	195,8–313,3	1,08–1,59	170,3–272,4	0,94–1,38	154,2–246,7	0,85–1,25
600,0	600,2	397,9–587,1	1,49–2,08	313,3–462,3	1,17–1,63	272,4–402,0	1,02–1,42	246,7–364,0	0,92–1,29
700,0	699,4	587,1–819,5	1,59–2,13	462,3–645,3	1,25–1,68	402,0–561,1	1,09–1,46	364,0–508,1	0,98–1,32
800,0	799,8	819,5–1097,1	1,69–2,18	645,3–863,8	1,33–1,72	561,1–751,1	1,16–1,50	508,1–680,2	1,05–1,35
900,0	899,2	1097,1–1418,7	1,77–2,24	863,8–1117,1	1,40–1,76	751,1–971,4	1,21–1,53	680,2–879,6	1,10–1,39
1000,0	998,4	1418,7–1963,6	1,55–2,51	1117,1–1546,2	1,22–1,98	971,4–1344,4	1,06–1,72	879,6–1217,5	0,96–1,56
1200,0	1199,2	1963,6–2911,1	1,84–2,58	1546,2–2292,2	1,45–2,03	1344,4–1993,1	1,26–1,77	1217,5–1804,9	1,14–1,60

Таблица В.3 — Предельные экономические расходы и скорости воды для железобетонных труб

Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
400,0	400,0	0,0–278,8	0,00–2,22	0,0–218,6	0,00–1,74	0,00–189,6	0,00–1,51	0,0–171,4	0,00–1,36
500,0	500,0	278,8–435,3	1,54–2,22	218,6–341,3	1,21–1,74	189,6–296,0	1,05–1,51	171,4–267,6	0,95–1,36

Окончание таблицы В.3

Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
600,0	600,0	435,3–629,2	1,63–2,23	341,3–493,3	1,28–1,75	296,0–427,9	1,11–1,51	267,6–386,8	1,00–1,37
700,0	700,0	629,2–861,6	1,70–2,24	493,3–675,6	1,34–1,76	427,9–586,0	1,16–1,52	386,8–529,7	1,05–1,38
800,0	800,0	861,6–1133,4	1,77–2,26	675,6–888,7	1,39–1,77	586,0–770,8	1,20–1,53	529,7–696,8	1,09–1,39
900,0	900,0	1133,4–1445,4	1,83–2,27	888,7–1133,4	1,43–1,78	770,8–983,1	1,24–1,55	696,8–888,7	1,12–1,40
1000,0	1000,0	1445,4–1961,5	1,58–2,50	1133,4–1538,0	1,24–1,96	983,1–1334,0	1,07–1,70	888,7–1206,0	0,97–1,54
1200,0	1200,0	1961,5–2835,2	1,84–2,51	1538,0–2223,1	1,44–1,97	1334,0–1928,3	1,25–1,71	1206,0–1743,2	1,13–1,54
1400,0	1400,0	2835,2–3882,4	1,92–2,52	2223,1–3044,2	1,51–1,98	1928,3–2640,5	1,31–1,72	1743,2–2387,0	1,18–1,55
1600,0	1600,0	3882,4–4815,7	2,24–2,40	3044,2–3776,0	1,75–1,88	2640,5–3275,3	1,52–1,63	2387,0–2960,8	1,37–1,47

Таблица В.4 — Предельные экономические расходы и скорости воды для пластмассовых труб

Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
80,0	79,8	0,0–4,5	0,00–0,91	0,0–3,5	0,00–0,71	0,0–3,1	0,00–0,61	0,0–2,8	0,00–0,55
110,0	97,6	4,5–6,8	0,70–0,91	3,5–5,3	0,55–0,71	3,1–4,6	0,47–0,61	2,8–4,1	0,43–0,55
125,0	110,8	6,8–9,1	0,73–0,94	5,3–7,1	0,57–0,73	4,6–6,1	0,49–0,64	4,1–5,5	0,44–0,57
140,0	124,0	9,1–12,2	0,72–1,01	7,1–9,5	0,56–0,79	6,1–8,2	0,49–0,68	5,5–7,4	0,44–0,62
160,0	141,8	12,2–18,7	0,65–1,19	9,5–14,6	0,51–0,92	8,2–12,6	0,44–0,80	7,4–11,3	0,39–0,72
200,0	177,2	18,7–28,6	0,94–1,16	14,6–22,2	0,73–0,90	12,6–19,2	0,63–0,78	11,3–17,3	0,57–0,70
225,0	199,4	28,6–37,5	0,94–1,20	22,2–29,2	0,73–0,94	19,2–25,2	0,63–0,81	17,3–22,7	0,57–0,73

Окончание таблицы В.4

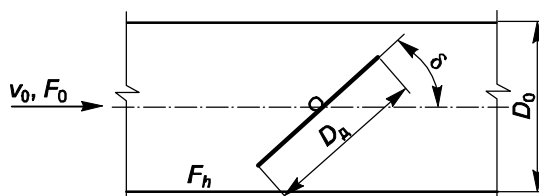
Диаметр, мм		Предельные экономические расходы и скорости воды при экономическом факторе Э							
условный	расчетный	Э = 0,25		Э = 0,50		Э = 0,75		Э = 1,00	
		Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с	Расход 10^{-3} , м ³ /с	Скорость, м/с
250,0	221,6	37,5–55,7	0,76–1,44	29,2–43,4	0,59–1,13	25,2–37,5	0,51–0,97	22,7–33,8	0,46–0,88
315,0	279,2	55,7–98,4	0,90–1,61	43,4–76,6	0,70–1,25	37,5–66,2	0,60–1,08	33,8–59,7	0,54–0,98
400,0	354,6	98,4–172,6	1,03–1,75	76,6–134,5	0,80–1,36	66,2–116,2	0,69–1,18	59,7–104,7	0,62–1,06
500,0	443,4	172,6–299,2	1,10–1,94	134,5–233,0	0,86–1,51	116,2–201,3	0,74–1,30	104,7–181,5	0,67–1,18
630,0	558,6	299,2–528,2	1,20–2,16	233,0–411,4	0,94–1,68	201,3–355,5	0,81–1,45	181,5–320,5	0,73–1,31
800,0	709,4	528,2–919,1	1,40–2,33	411,4–715,9	1,09–1,81	355,5–618,5	0,94–1,57	320,5–557,6	0,85–1,41

Приложение Г (справочное)

Коэффициенты местного сопротивления задвижек и клапанов

Таблица Г.1 — Коэффициенты местного сопротивления $\zeta = f(h/D_0)$ задвижек параллельного типа в прямой трубе круглого сечения

Положение задвижки	Значение коэффициента местного сопротивления ζ при h/D_0										
	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
В сети (за задвижкой прямая труба)	200,0	77,0	33,0	11,0	4,70	2,35	1,23	0,67	0,31	0,11	0,05
Концевая задвижка на выходе	200,0	64,0	36,0	14,2	7,10	3,85	2,30	1,40	0,75	0,21	0,11



D_0 — внутренний диаметр трубы; D_d — диаметр клапана (дросселя);
 F_0 — площадь сечения трубы; F_h — площадь сечения трубы при повороте клапана;
 v_0 — скорость движения воды по трубе при открытом клапане; δ — угол открытия клапана

Рисунок Г.1 — Расположение клапана в трубе

Таблица Г.2 — Коэффициенты местного сопротивления $\zeta = f(\delta)$ клапанов (дроссельных, плоских дисков) в трубе круглого сечения

Положение клапана	Значение коэффициента местного сопротивления ζ при угле открытия клапана δ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	75°
$25 \text{ мм} \leq D_0 \leq 40 \text{ мм}$ $\overline{D}_d = \frac{D_d}{D_0} = 0,98$ при $f = \frac{F_h}{F_0} \approx 0,92$ (при $\delta = 0^\circ$)	0,60	0,85	1,70	4,0	9,4	24	67	215	400
$\overline{D}_d = \frac{D_d}{D_0} = 1,0$ $\overline{f} = \frac{F_h}{F_0} \approx 0,99$ (при $\delta = 0^\circ$)	—	0,52	1,54	4,5	11,0	29	108	625	—

Приложение Д
(справочное)

Номограмма для определения скорости распространения ударной волны
в трубах с низким модулем упругости

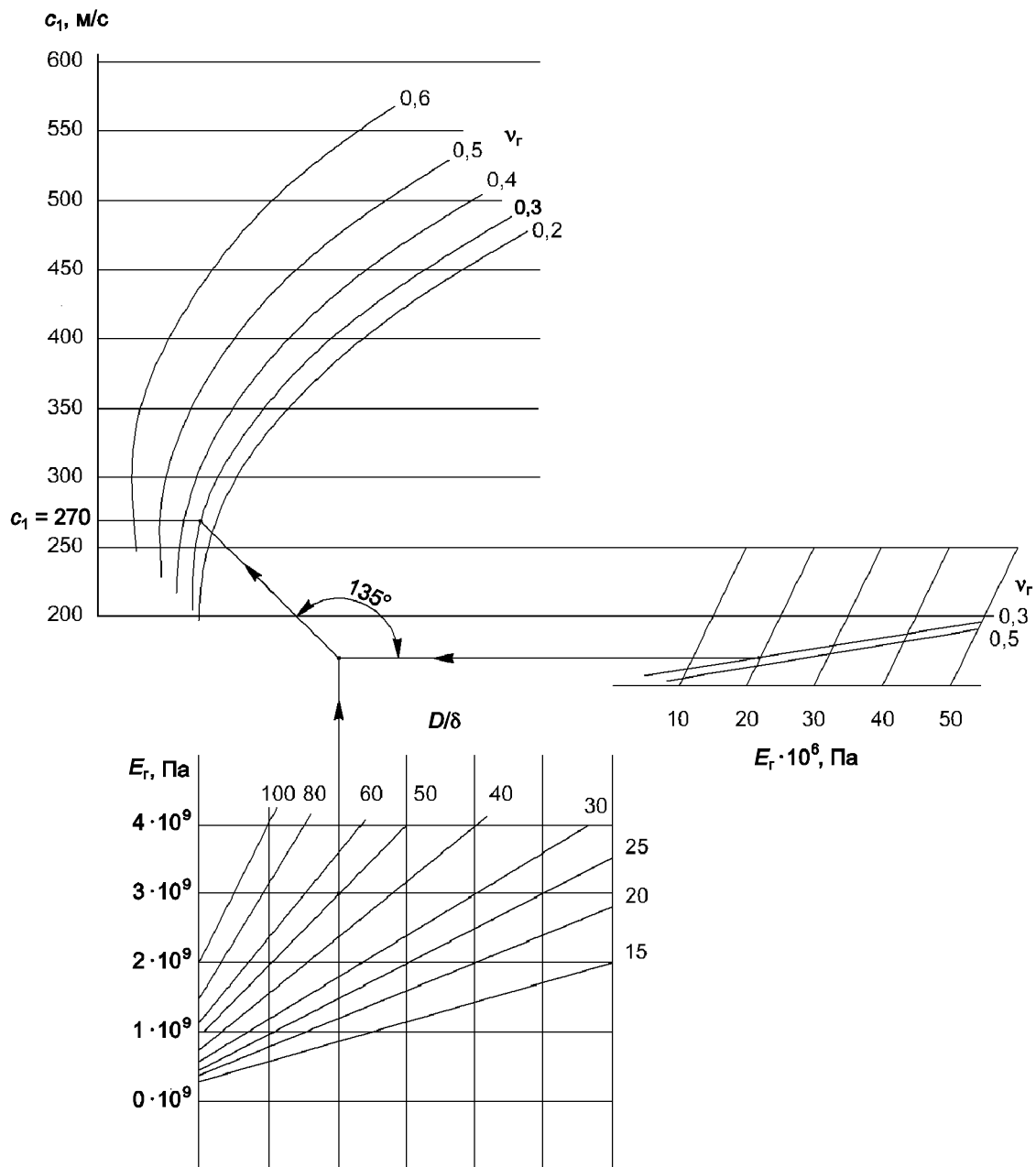


Рисунок Д.1

Приложение Е (справочное)

Номограммы для расчета гидравлического удара в водоводах и водопроводных сетях

Е.1 Прямой гидравлический удар

Е.1.1 На рисунке Е.1 приведена номограмма для определения величины давления при прямом гидравлическом ударе по формуле (8.22).

Е.1.2 Прямой гидравлический удар в водоводе происходит при условии, что время закрытия задвижки на водоводе или водопроводной сети, время пуска или остановки насоса меньше, чем время фазы гидравлического удара, определяемого по формуле (8.28).

Е.1.3 Ключ пользования номограммой приведен на самой номограмме.

Пример 1

На водоводе длиной 2500 м при скорости движения воды 1,5 м/с происходит остановка насоса в течение 3 с. Статическое давление p_0 у насоса — 0,5 МПа. Скорость распространения ударной волны 1000 м/с.

По формуле (8.28) определяем время фазы гидравлического удара: $\tau_0 = 2 \cdot 2500/1000 = 5$ с.

На шкале v_0 номограммы рисунка Е.1 находим скорость 1,5 м/с, на шкале c_1 находим скорость распространения ударной волны 1000 м/с. Через полученные точки проводим прямую 1 до пересечения с немой шкалой l .

На шкале p_0 находим численное значение статического давления у насоса при остановке движения воды 0,5 МПа. Через точку на немой шкале l и полученную точку на шкале p_0 проводим прямую 2 до пересечения со шкалой p . На этой шкале получаем численное значение давления у насоса при гидравлическом ударе, $p = 2,03$ МПа.

Е.2 Непрямой гидравлический удар ($t_3 > \tau_0$)

Е.2.1 На рисунках Е.2 и Е.3 приведены номограммы для определения давления при непрямом гидравлическом ударе в трубопроводах при закрытии задвижки.

Е.2.2 Ключ пользования номограммами приведен на самих номограммах.

Е.2.3 Расчет непрямого гидравлического удара производится в следующей последовательности.

Е.2.3.1 Определяют скорость распространения ударной волны в трубопроводе c_1 в зависимости от материала труб по формулам (8.23) и (8.24).

Е.2.3.2 Определяют время фазы гидравлического удара τ_0 по формуле (8.28). Это время должно быть меньше, чем время закрытия задвижки t_3 .

Е.2.3.3 Определяют число фаз колебаний давления n_ϕ по формуле (8.29).

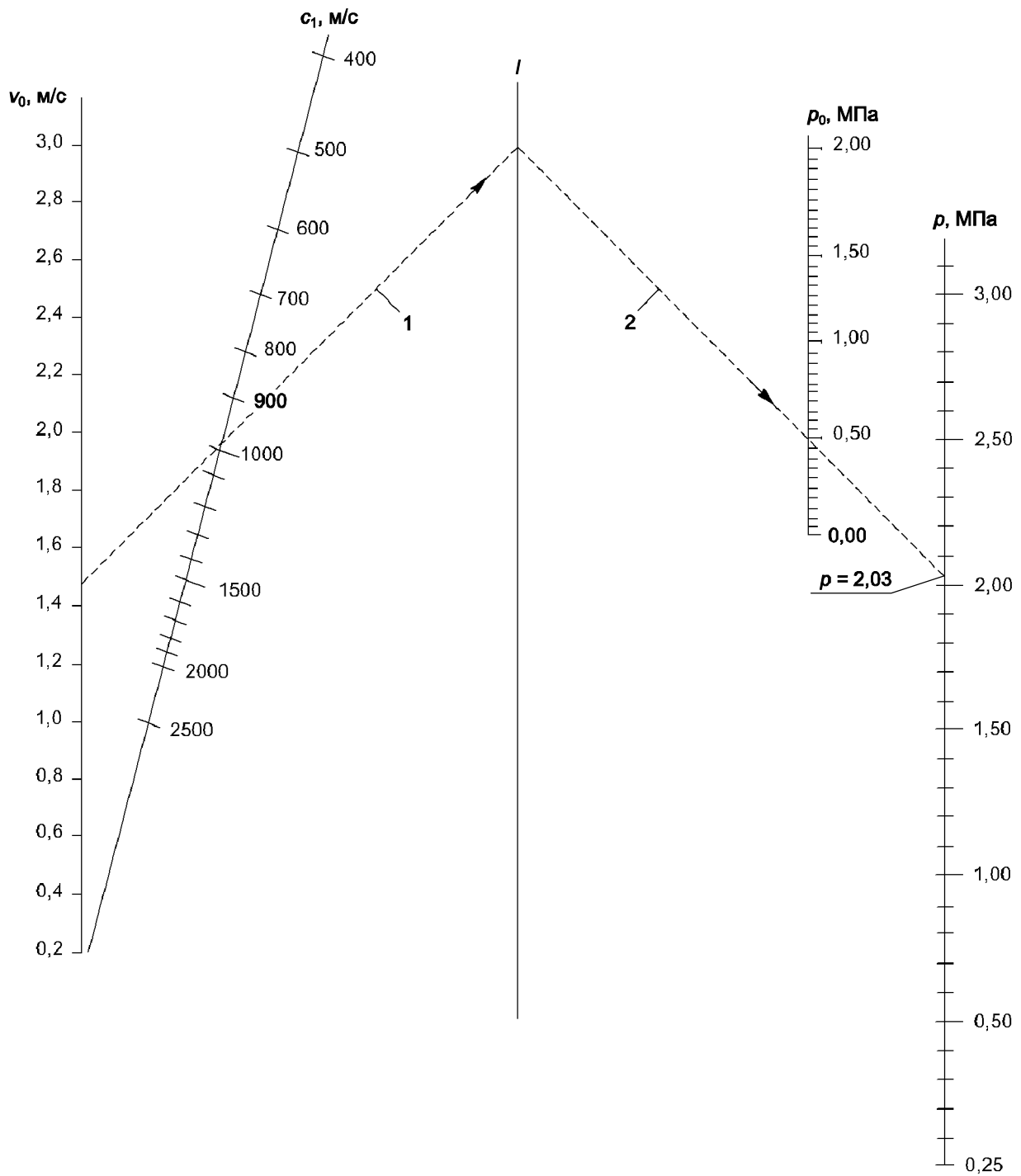
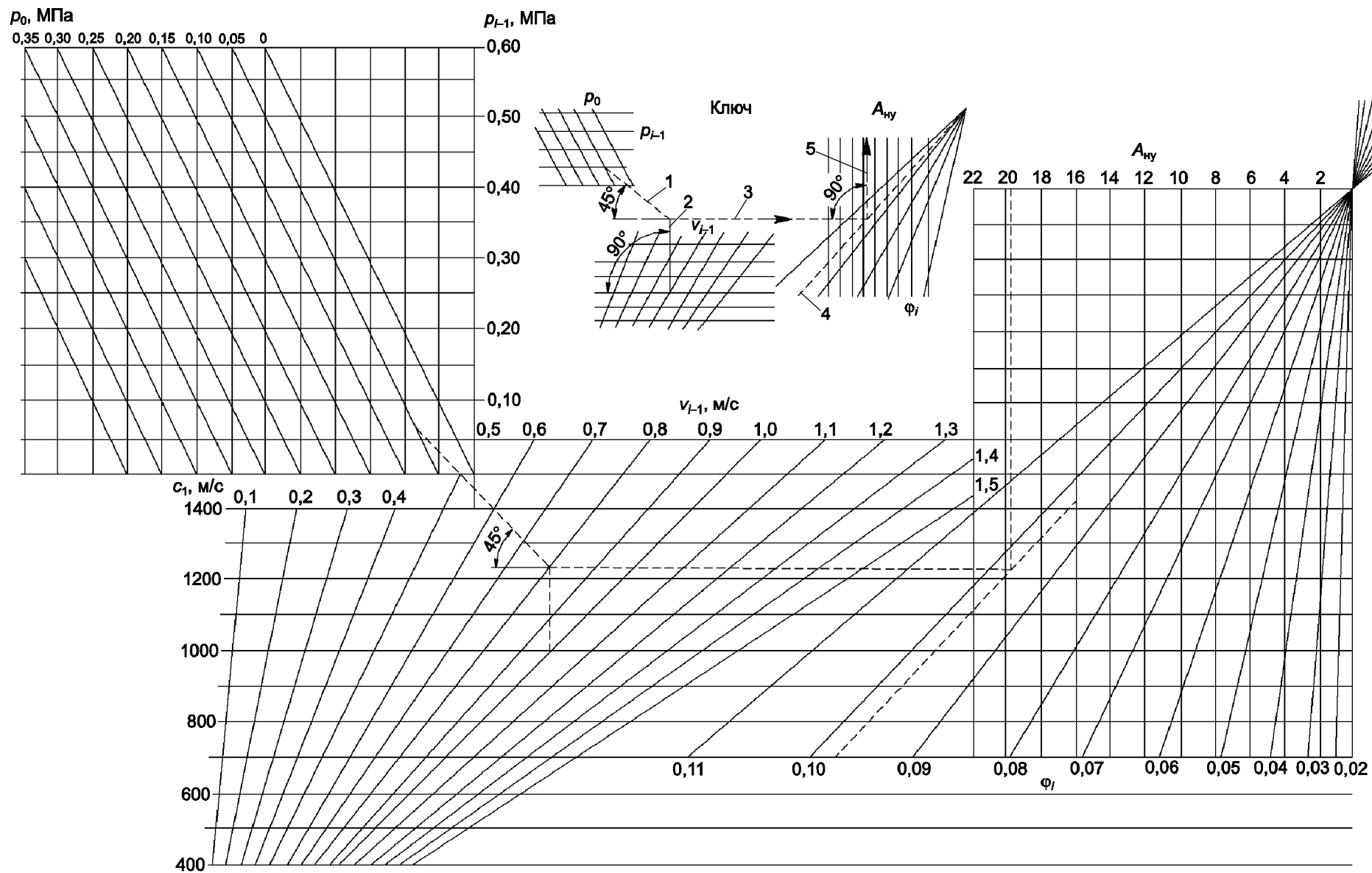


Рисунок Е.1 — Номограмма для определения значения давления при прямом гидравлическом ударе по формуле (8.22)

Рисунок Е.2 — Номограмма для расчета гидравлического удара по формулам (8.30) – (8.32) для определения параметра A_{hy}

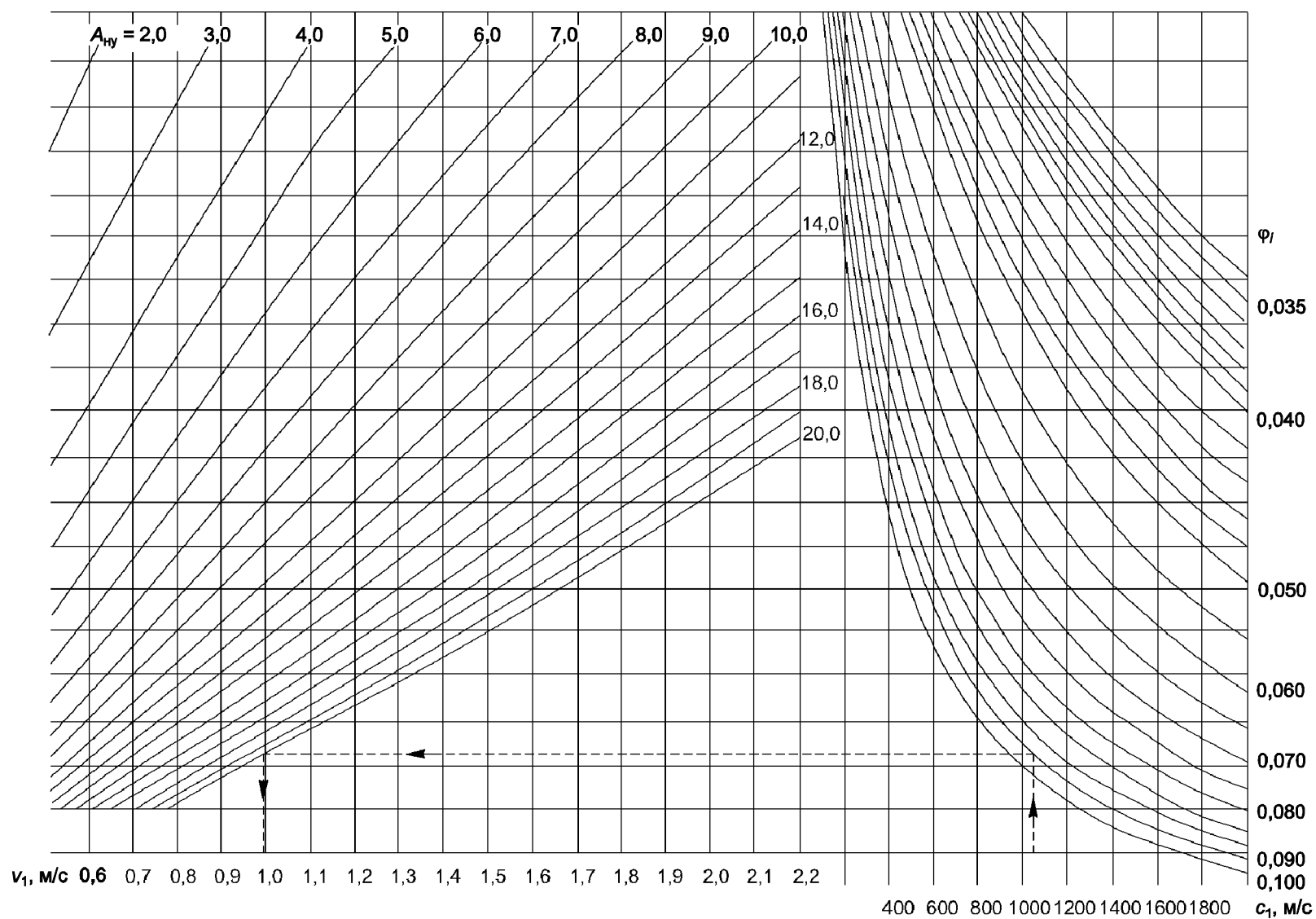


Рисунок Е.3 — Номограмма для определения скорости v_i по формуле (8.30)

Е.2.3.4 Производят расчеты по каждой фазе и результаты записывают в таблицу Е.1.

Таблица Е.1

Номер фазы	t, c	x/d	Коэффициент гидравлического сопротивления		Коэффициент скорости φ_i	A_{ny}	Скорость $v_i, m/c$	Динамическая составляющая давления p_i, MPa	Сумма волн, МПа	
			трубопровода ζ_{tr}	затвора ζ_z					прямых понижения давления Ψ_n	обратных повышения давления Φ_0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	52	0,65	98,1	7,848	0,0972	19,80	0,990	0,05287	0,00000	0,00287
2	56	0,70	98,1	10,00	0,0962	19,25	0,990	0,05398	0,00287	0,00685
3	60	0,75	98,1	22,50	0,0911	17,20	0,985	0,05958	0,00685	0,01643
4	64	0,80	98,1	35,00	0,0867	15,40	0,965	0,06314	0,01643	0,02957
5	68	0,85	98,1	76,80	0,0756	11,40	0,910	0,07385	0,02957	0,05342
6	72	0,90	98,1	200,0	0,0579	6,40	0,840	0,10728	0,05342	0,11070
7	76	0,95	98,1	700,0	0,0354	2,10	0,665	0,17986	0,11070	0,24056
8	80	1,00	98,1	∞	0,0000	—	0,000	0,59802	0,24056	0,78858

Е.2.3.5 После завершения расчетов по предпоследней фазе колебания давления производят вычисление повышения или понижения давления в последней фазе и определяют максимальную и минимальную величину давления при гидравлическом ударе.

Пример 2

Произвести расчет гидравлического удара в водоводе длиной 2000 м при потере давления 0,05 МПа и скорости установившегося движения при полностью открытом затворе в конце водовода $v_0 = 1,0$ м/с. Затвор закрывается равномерно в течение 80 с. Примем скорость распространения ударной волны $c_1 = 1000$ м/с и статическое давление $p_0 = 0,8$ МПа.

До закрытия затвора x/d равно 0,65, при котором сопротивление затвора составляет примерно 8 % начального сопротивления трубопровода, повышение давления считаем как для первой фазы. При этом закрытие затвора до 0,65 происходит за 52 с.

Результаты расчета сводим в таблицу Е.1.

Данные графы 4 таблицы Е.1 вычисляем по формуле

$$\zeta_{tr} = \frac{2 \cdot 10^6 \Delta p}{\rho v_0^2}. \quad (E.1)$$

Значения графы 5 таблицы Е.1 определяем по справочным данным.

Значения графы 6 таблицы Е.1 вычисляем по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\zeta_{tr} + \zeta_z}}. \quad (E.2)$$

В формулах (Е.1) и (Е.2):

ζ_{tr} — коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода;

ζ_z — коэффициент сопротивления задвижки (затвора), определяемый по справочникам или по приложению Г.

Значение A_{ny} графы 7 таблицы Е.1 определяем по номограмме, приведенной на рисунке Е.2.

Значение скорости пофазно v_i графы 8 таблицы Е.1 определяем по номограмме, приведенной на рисунке Е.3.

Динамическую составляющую давления пофазно p_i графы 9 таблицы Е.1 вычисляем по формуле

$$p_i = \frac{\rho v_i^2}{2 \cdot 10^6 \varphi_i^2}, \quad (E.3)$$

где v_i — скорость установившегося движения на i -й фазе изменения давления, м/с;
 φ_i — коэффициент скорости графы 6 таблицы Е.1.

В последней фазе, т. е. восьмой, динамическую составляющую повышения давления p_n вычисляем по формуле

$$p_n = 2\Delta p - p_{n-1} + \frac{\rho c_1 v_{n-1}}{10^6}, \quad (\text{Е.4})$$

где Δp — потери давления в водоводе, МПа;

p_{n-1} — динамическая составляющая давления в предпоследней фазе; $p_{n-1} = 0,18$ МПа;

v_{n-1} — скорость установившегося движения воды в предпоследней фазе; $v_{n-1} = 0,665$ м/с.

$$p_8 = 2 \cdot 0,05 - 0,18 + \frac{1000 \cdot 1000 \cdot 0,665}{10^6} = 0,585 \text{ МПа.}$$

Максимальную величину понижения давления Δp_1 , МПа, вычисляем по формуле

$$\Delta p_1 = (p_n - \Delta p) \cdot \left(1 - \frac{p_n - \Delta p}{8\Delta p \cdot \left(\varphi_0^2 \cdot \frac{c_1}{v_n} \right)^2} \right)^2, \quad (\text{Е.5})$$

$$\Delta p_1 = (0,585 - 0,05) \cdot \left(1 - \frac{0,585 - 0,05}{8 \cdot 0,05 \cdot \left(0,101^2 \cdot \frac{1000}{1,0} \right)^2} \right) = 0,528.$$

Таким образом, в трубопроводе возникнет:

— максимальное давление — $0,80 + 0,585 = 1,385$ МПа;

— минимальное давление — $0,80 - 0,528 = 0,272$ МПа $> 0,10$ МПа.

Е.2.4 Для определения давления при непрямом гидравлическом ударе в трубопроводах при закрытии задвижки разработана программа расчета на ЭВМ, рабочий модуль которой распространяется разработчиками ПРУП «Белкоммунпроект».

Е.3 Определение максимального давления, обусловленного гидравлическим ударом без разрыва сплошности потока в трубопроводе при выключении насоса

Е.3.1 На рисунках Е.4 и Е.5 приведены номограммы для определения максимального давления, обусловленного гидравлическим ударом без разрыва сплошности потока в трубопроводе при выключении насоса, по формуле (8.45).

Е.3.2 Ключ пользования номограммами приведен непосредственно на номограммах.

Пример 3

Определить максимальное давление в водоводе при выключении насоса при следующих данных:

- | | |
|---|--------------------------|
| — потери давления в водоводе | — $\Delta p = 0,05$ МПа; |
| — скорость установившегося движения воды в водоводе | — $v_0 = 1,5$ м/с; |
| — скорость распространения ударной волны | — 1000 м/с; |
| — статическое давление в водоводе при прекращении движения воды | — $p_c = 0,30$ МПа. |

Порядок определения следующий.

По номограмме, приведенной на рисунке Е.5, определяют параметр u , входящий в формулу (8.45).

Для данного примера $u = 1,937$.

По номограмме, приведенной на рисунке Е.4, определяют максимальное давление: $p_y = 1,81$ МПа.

Последовательность определения показана на номограмме цифрами.

Е.4 Определение максимального давления при выключении насоса с малой инерцией движущихся масс при гидравлическом ударе, сопровождающимся разрывом сплошности потока

Определение максимального давления выполняется в следующей последовательности.

Е.4.1 Вычисляют скорость распространения ударной волны c_1 по формуле (8.23) или (8.24) в зависимости от материала труб.

Е.4.2 Вычисляют скорость v_k по формуле (8.49).

Е.4.3 Вычисляют относительную продолжительность регулирования скорости течения воды в трубопроводе τ_3 по формуле (8.51).

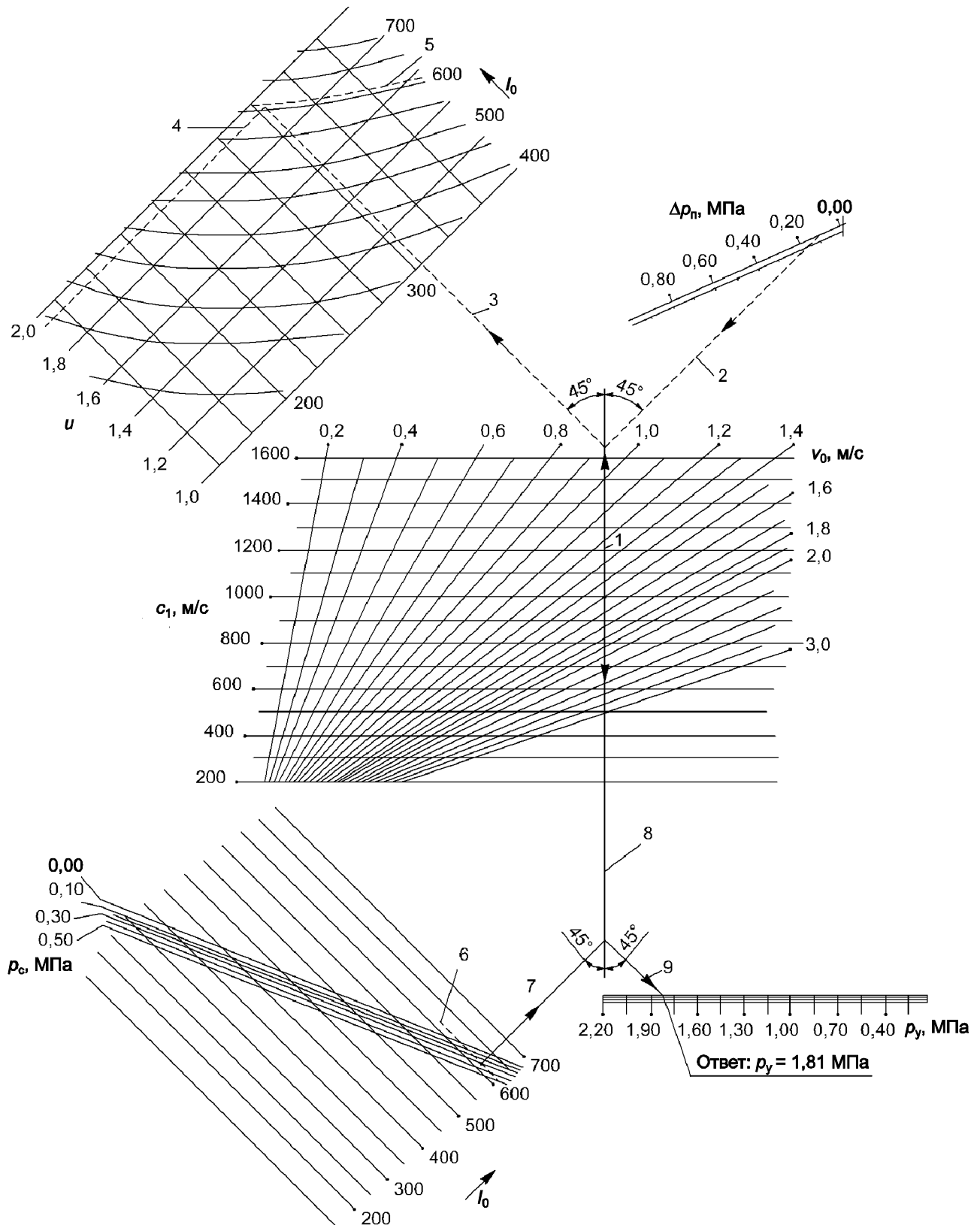


Рисунок Е.4 — Номограмма для определения максимального давления по формуле (8.45)

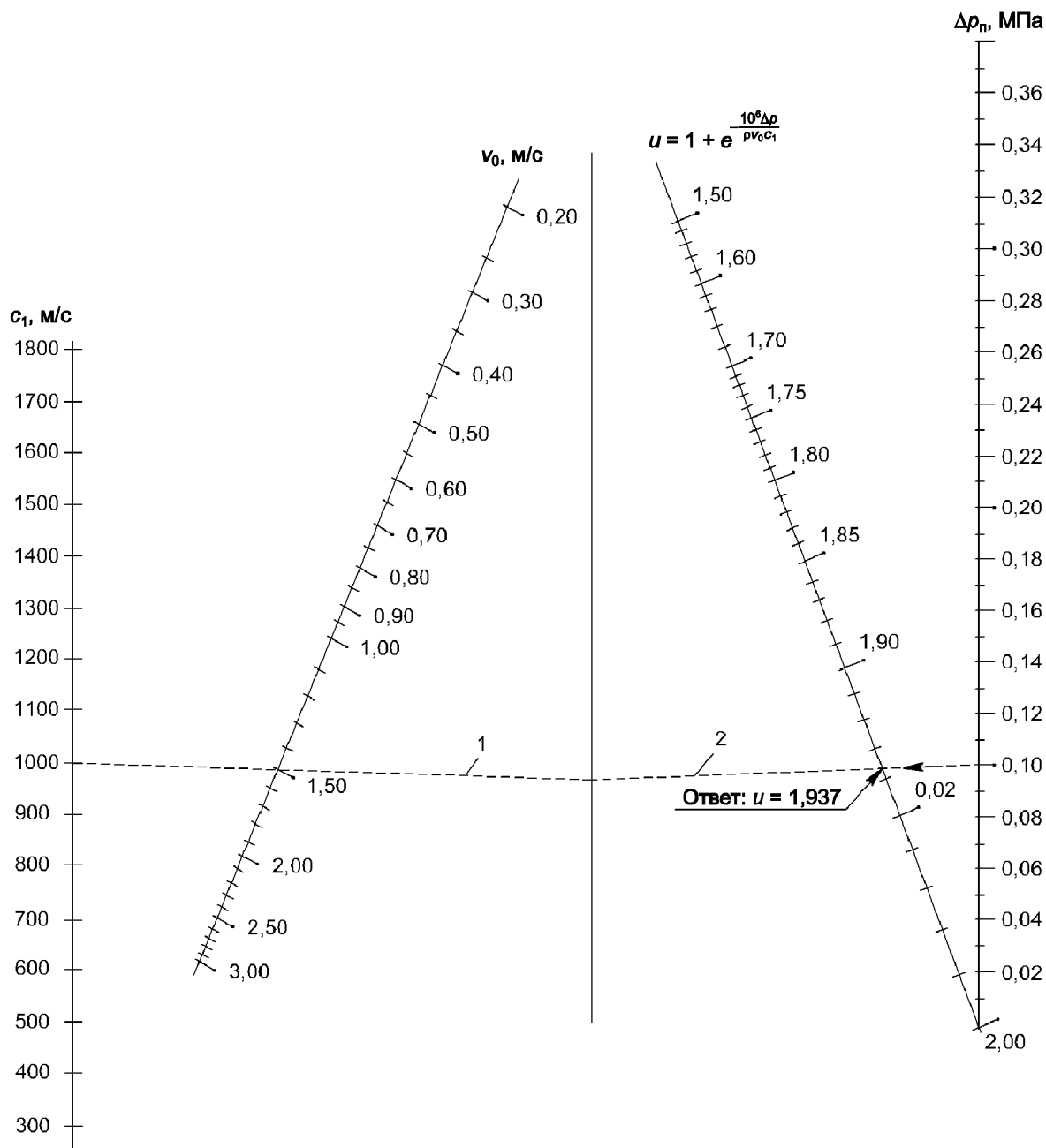


Рисунок Е.5 — Номограмма для определения выражения $u = 1 + e^{-\frac{10^6 \Delta p}{\rho v_0 c_1}}$, входящего в формулу (8.45)

Е.4.4 Определяется целая часть числа k_c от деления v_0/v_k .

Е.4.5 Вычисляют критическое время действия гидравлического удара $\tau_{кр}$ по формуле (8.47) или определяют по номограмме, приведенной на рисунке Е.6.

Е.4.6 Вычисляют значение α_c по формуле (8.54).

Е.4.7 Вычисляют параметр β_k по формуле (8.53) или определяют по номограмме, приведенной на рисунке Е.7.

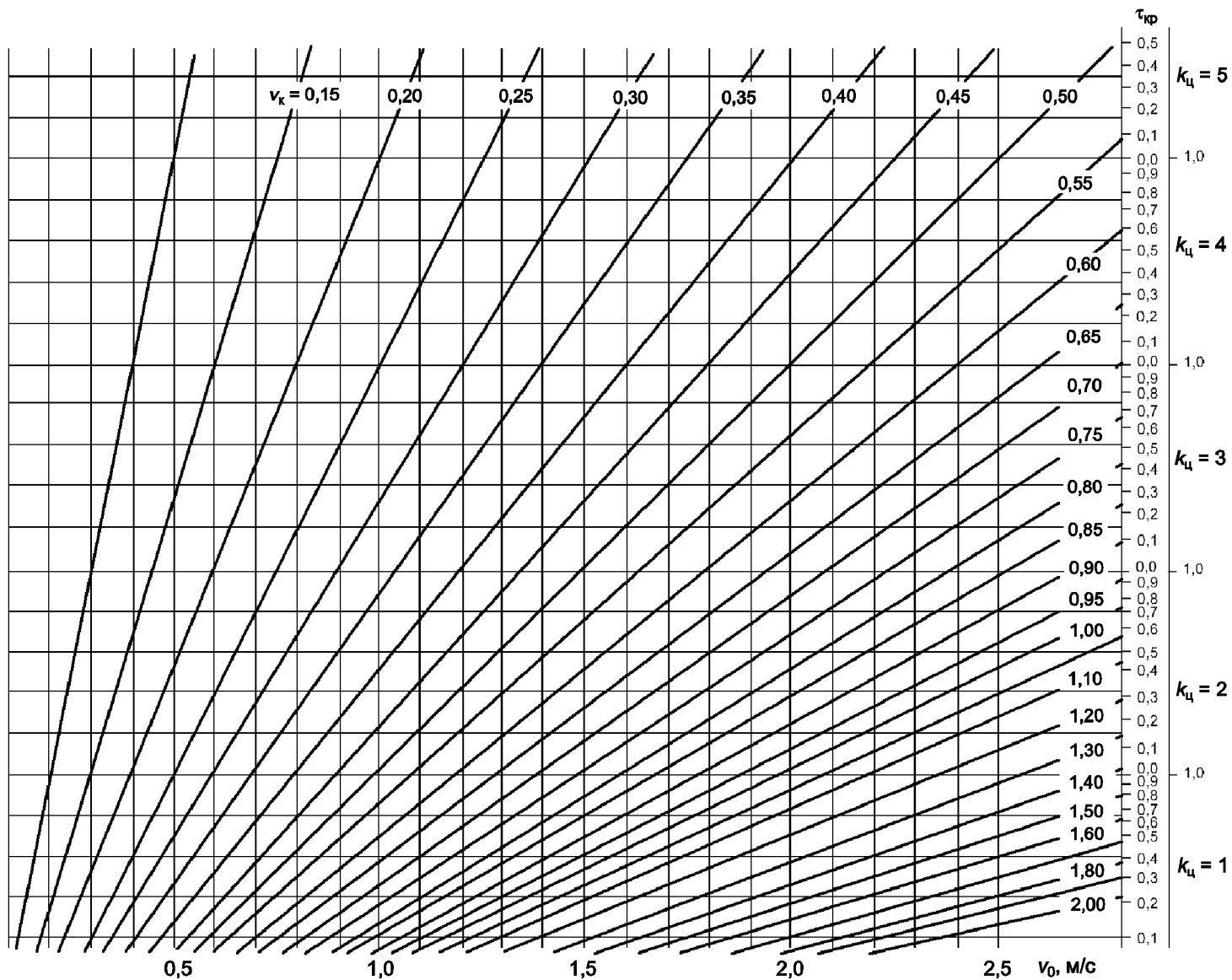


Рисунок Е.6 — Номограмма для определения k_u по формуле (8.48) и $\tau_{кр}$ по формуле (8.47) при определении положительных корней уравнения (8.56) по номограмме, приведенной на рисунке Е.10

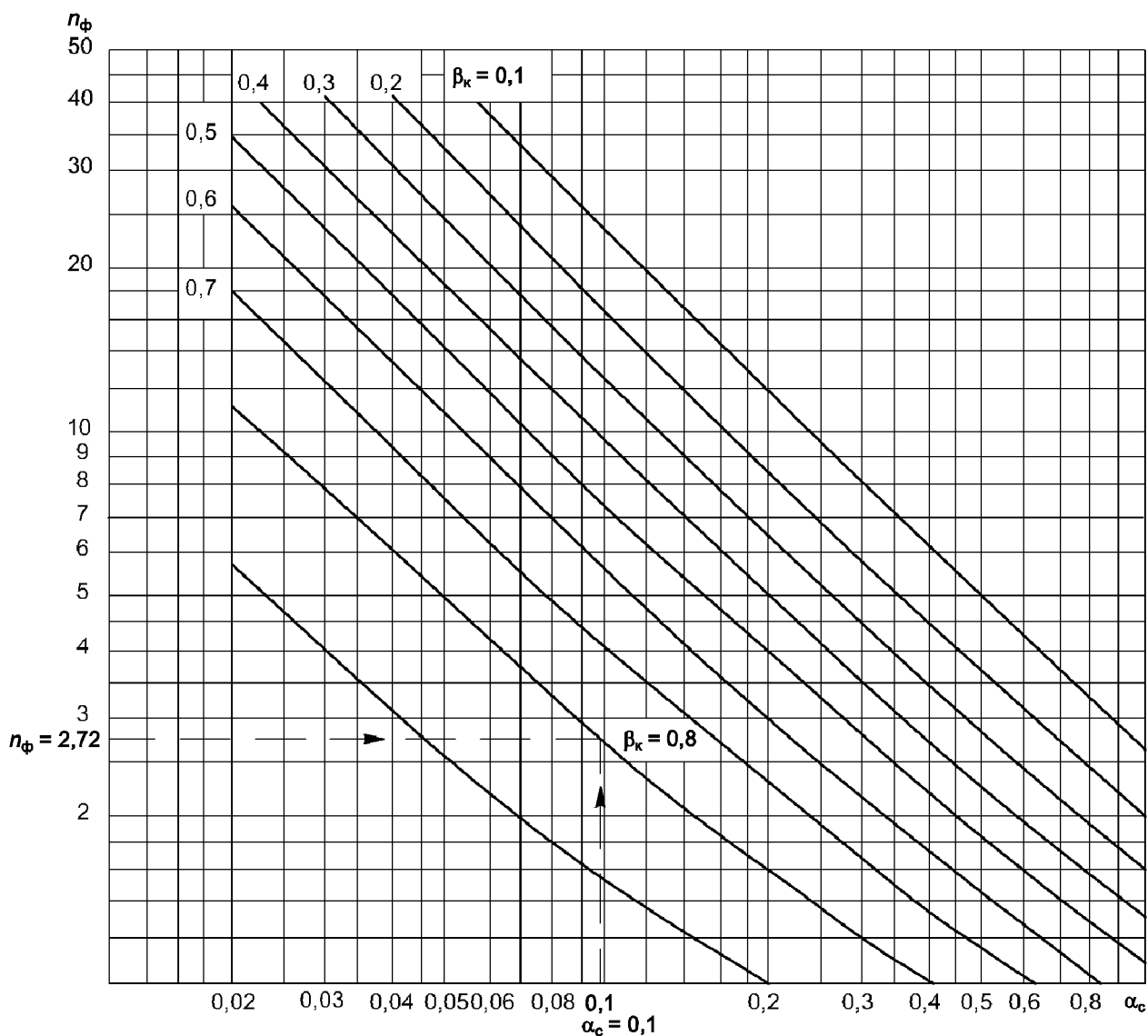


Рисунок Е.7 — Номограмма для определения β_k по формуле (8.53) по данным формул (8.50) и (8.54)

Е.4.8 При $\tau_{кр} \geq \tau_3$ вычисляют максимальное абсолютное давление при гидравлическом ударе по формуле (8.52) или определяют по номограммам, приведенным на рисунках Е.8 и Е.9, при этом избыточное максимальное давление вычисляют по формуле (8.55). Величину вакуума следует принимать от 0,07 до 0,08 МПа.

Е.4.9 При $\tau_{кр} < \tau_3$ решают уравнение (8.56). Оно может быть решено с помощью номограмм, приведенных на рисунках Е.10 и Е.11. Значения Π_{2a} и Π_{3a} , входящих в уравнение (8.56), следует определять по таблицам Е.2 – Е.11 или вычислять по формулам (8.57) и (8.58).

Е.4.10 При наличии действительного корня, находящегося в пределах от $\tau_{кр}$ до τ_3 , вычисляют максимальное относительное давление $\Pi_{a, макс}$ по формуле (8.59).

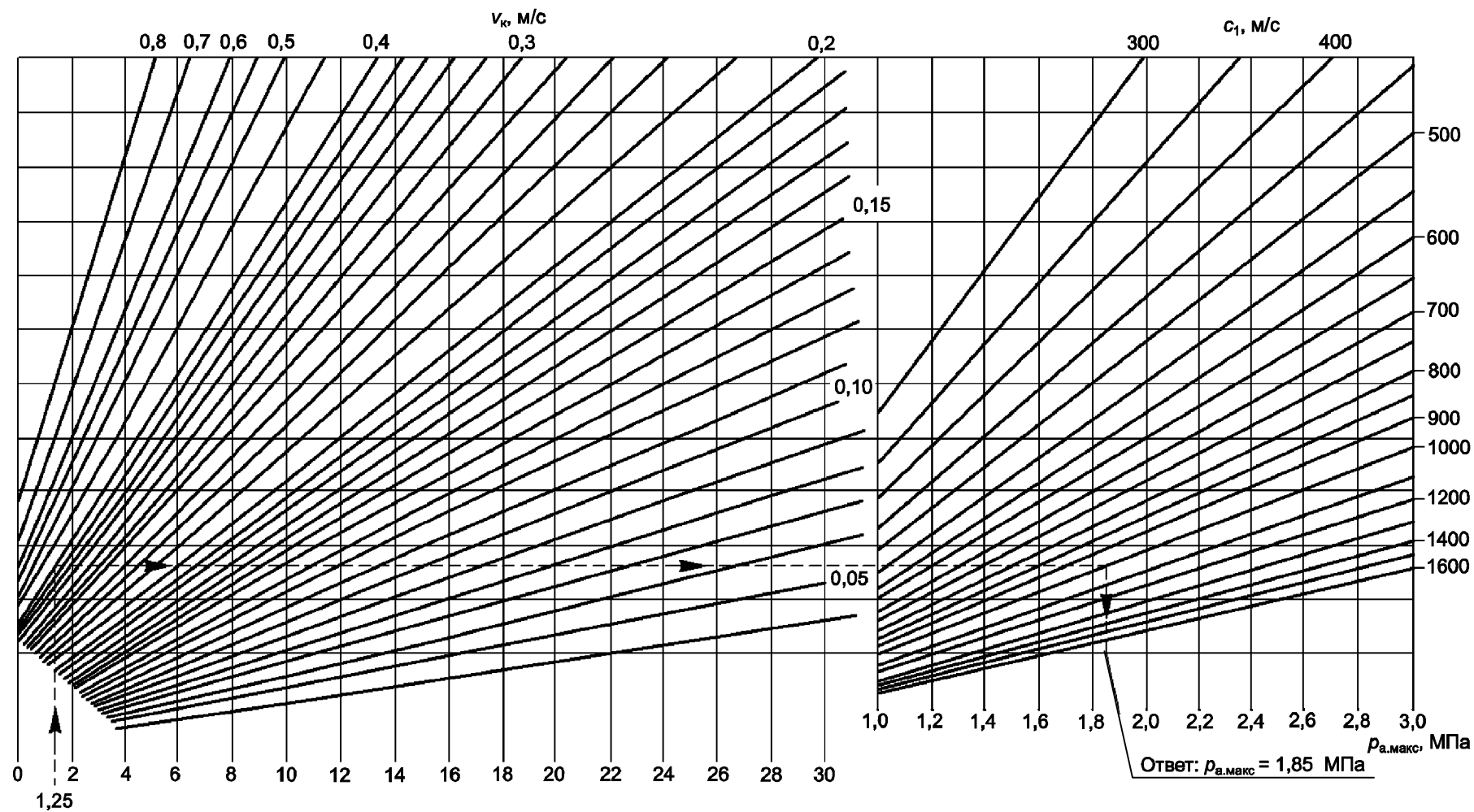


Рисунок Е.8 — Номограмма для определения максимального абсолютного давления по формуле (8.52)

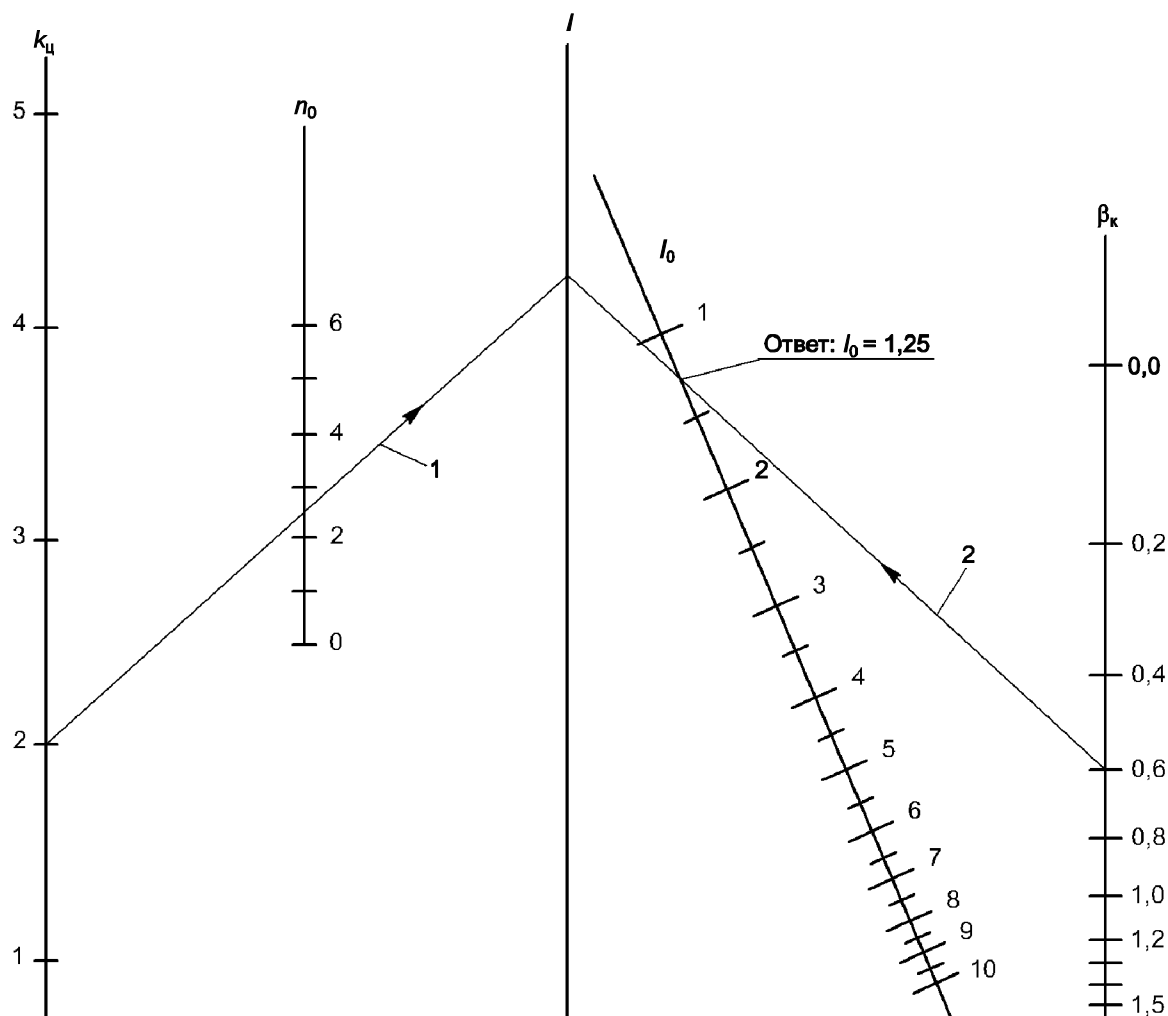


Рисунок Е.9 — Номограмма для определения параметра l_0 при определении максимального абсолютного давления по номограмме, приведенной на рисунке Е.8

Е.4.11 Вычисляют максимальное абсолютное давление $p_{a.макс}$ по формуле (8.60), по формуле (8.55) вычисляют максимальное избыточное давление $p_{и.макс}$.

Е.4.12 В случае, когда $\tau_{кр} < \tau_3$, но отсутствуют действительные корни уравнения (8.56) в диапазоне от $\tau_{кр}$ до τ_3 , максимальное относительное давление $P_{a.макс}$ вычисляют по формулам (8.61) и (8.62). Берут большее из значений, вычисленных по формулам (8.61) и (8.62), и подсчитывают максимальное избыточное давление $p_{и.макс}$ по формулам (8.60) и (8.55).

Пример 4

Определить максимальную величину избыточного давления при выключении насоса при гидравлическом ударе, сопровождающемся разрывом сплошности потока при следующих данных:

- | | |
|--|--------------------------|
| — скорость при установившемся движении воды в водоводе | — $v_0 = 1,0$ м/с; |
| — длина водовода | — $L = 4000$ м; |
| — скорость распространения ударной волны | — $c_1 = 1000$ м/с; |
| — время остановки насоса | — $t_3 = 2,5$ с; |
| — статическое давление | — $p_c = 0,50$ МПа; |
| — потери давления в водоводе при установившемся движении | — $\Delta p = 0,10$ МПа. |

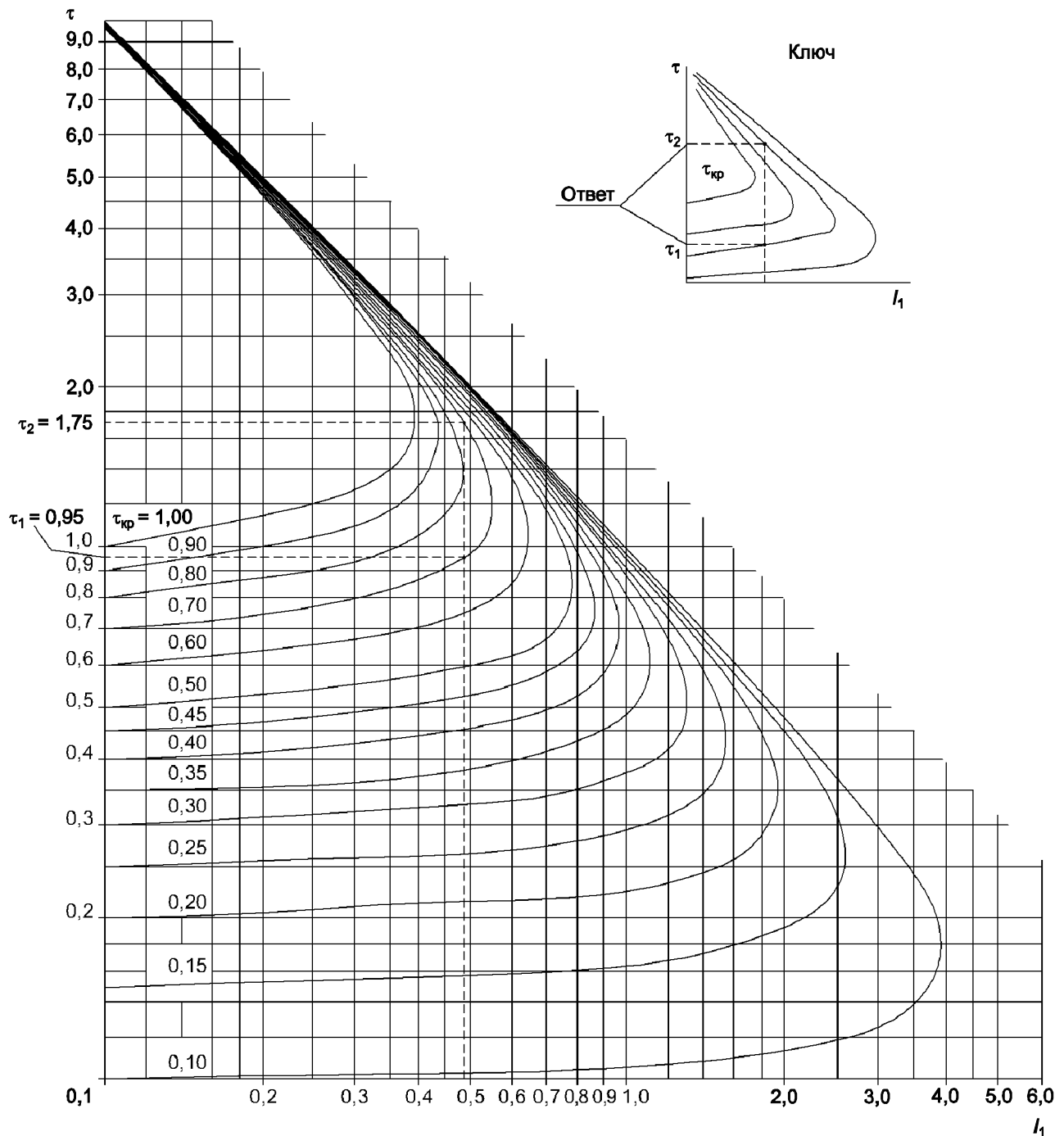


Рисунок Е.10 — Номограмма для определения положительных корней уравнения (8.56)

Вычисляем скорость v_k , м/с, по формуле (8.49):

$$v_k = \frac{10^6}{\rho c_1} \cdot (p_0 + p_{в.макс}) = \frac{10^6}{1000 \cdot 1000} \cdot (0,50 + 0,08) = 0,58.$$

Вычисляем продолжительность фазы гидравлического удара τ_0 , с, по формуле (8.28):

$$\tau_0 = \frac{2L}{c_1} = \frac{2 \cdot 4000}{1000} = 8.$$

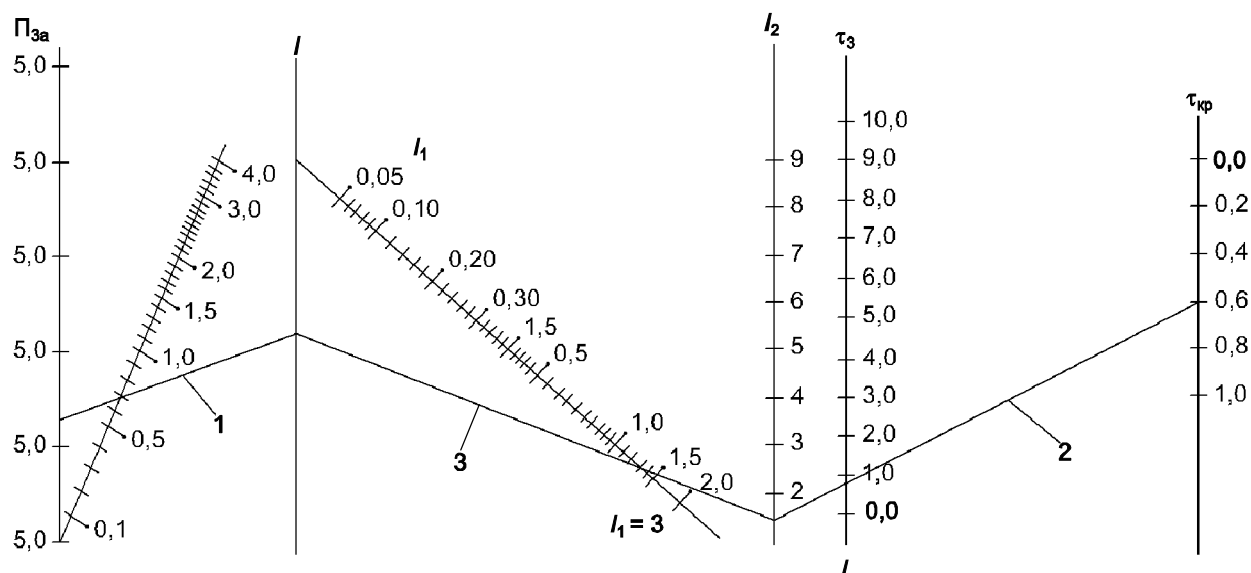


Рисунок Е.11 — Номограмма для определения параметра l_1 при определении положительных корней уравнения (8.56) по номограмме, приведенной на рисунке Е.10

Вычисляем относительную продолжительность регулирования скорости течения воды в трубопроводе τ_3 по формуле (8.51):

$$\tau_3 = \frac{t_{3H}}{\tau_0} = \frac{2,5}{8} = 0,312.$$

Вычисляем критическое время действия гидравлического удара $\tau_{кр}$ по формуле (8.47) или определяем по номограмме, приведенной на рисунке Е.6, и целую часть k_c от деления v_0/v_k .

По номограмме, приведенной на рисунке Е.6, при $v_0 = 1,0$ м/с и $v_k = 0,58$ определяем $\tau_{кр} = 0,65$ и $k_c = 1$.

Определяем параметр β_k по номограмме, приведенной на рисунке Е.7, в зависимости от n_ϕ и α_c , которые вычисляем по формулам (8.50) и (8.54):

$$n_\phi = \frac{v_0}{v_k} + 1 = \frac{1}{0,58} + 1 = 2,72,$$

$$\alpha_c = \frac{\Delta p}{p_{\max}} = \frac{10^6 \Delta p}{\rho c_1 v_0} = \frac{10^6 \cdot 0,1}{1000 \cdot 1000 \cdot 1} = 0,1,$$

$$\beta_k = 0,80.$$

При $\tau_{кр} \geq \tau_3$ ($0,65 > 0,312$) вычисляем максимальное абсолютное давление $p_{a.\max}$ по формуле (8.52) или определяем по номограммам, приведенным на рисунках Е.8 и Е.9, $p_{a.\max} = 1,886$ МПа. По формуле (8.55) максимальное избыточное давление составит:

$$p_{и.\max} = p_{a.\max} - p_{в.\max} = 1,886 - 0,078 = 1,808 \text{ МПа}.$$

Таблица Е.2

β_k	$K_u = 1$																				
	n_0																				
	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
	Π_{2a}																				
0,1	1,100	1,043	0,991	0,943	0,900	0,860	0,823	0,789	0,757	0,728	0,700	0,674	0,650	0,627	0,606	0,586	0,567	,549	0,532	0,515	0,500
0,2	1,200	1,133	1,073	1,017	0,967	0,920	0,877	0,837	0,800	0,766	0,733	0,703	0,675	0,648	0,624	0,600	0,578	0,557	0,537	0,518	0,500
0,3	1,300	1,224	1,155	1,091	1,033	0,980	0,931	0,885	0,843	0,803	0,767	0,732	0,700	0,670	0,641	0,614	0,589	0,565	0,542	0,521	0,500
0,4	1,400	1,314	1,236	1,165	1,100	1,040	0,985	0,933	0,886	0,841	0,800	0,761	0,725	0,691	0,659	0,629	0,600	0,573	0,547	0,523	0,500
0,5	1,500	1,405	1,318	1,239	1,167	1,100	1,038	0,981	0,929	0,879	0,833	0,790	0,750	0,712	0,676	0,643	0,611	0,581	0,553	0,526	0,500
0,6	1,600	1,485	1,400	1,313	1,233	1,160	1,092	1,030	0,971	0,917	0,867	0,819	0,775	0,733	0,694	0,657	0,622	0,589	0,558	0,528	0,500
0,7	1,700	1,586	1,482	1,387	1,300	1,220	1,146	1,078	1,014	0,955	0,900	0,848	0,800	0,755	0,712	0,671	0,633	0,597	0,563	0,531	0,500
0,8	1,800	1,676	1,564	1,461	1,367	1,280	1,200	1,126	1,057	0,993	0,933	0,877	0,825	0,776	0,729	0,686	0,644	0,605	0,568	0,533	0,500
0,9	1,900	1,767	1,645	1,535	1,433	1,340	1,254	1,174	1,100	1,031	0,967	0,906	0,850	0,797	0,747	0,700	0,656	0,614	0,774	0,536	0,500
1,0	2,00	1,857	1,727	1,609	1,500	1,400	1,308	1,222	1,143	1,069	1,000	0,935	0,875	0,818	0,765	0,714	0,667	0,622	0,579	0,538	0,500
1,1	2,100	1,948	1,809	1,683	1,567	1,460	1,362	1,270	1,186	1,107	1,033	0,965	0,900	0,839	0,782	0,729	0,678	0,630	0,584	0,541	0,500
1,2	2,200	2,038	1,891	1,757	1,633	1,520	1,415	1,319	1,229	1,145	1,067	0,994	0,925	0,861	0,800	0,743	0,689	0,638	0,589	0,544	0,500
1,3	2,300	2,129	1,973	1,830	1,700	1,580	1,469	1,367	1,271	1,183	1,100	1,023	0,950	0,882	0,818	0,757	0,700	0,646	0,595	0,546	0,500
1,4	2,400	2,219	2,055	1,904	1,767	1,640	1,523	1,415	1,314	1,221	1,133	1,052	0,975	0,903	0,835	0,771	0,711	0,654	0,600	0,549	0,500
1,5	2,500	2,310	2,136	1,978	1,833	1,700	1,577	1,463	1,357	1,259	1,167	1,081	1,000	0,924	0,853	0,786	0,722	0,662	0,605	0,551	0,500

Таблица Е.3

β_k	$K_u = 1$																				
	n_0																				
	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
	Π_{3a}																				
0,1	2,550	2,402	2,268	2,146	2,033	1,930	1,835	1,746	1,664	1,588	1,517	1,450	1,388	1,329	1,274	1,221	1,172	1,126	1,082	1,040	1,000
0,2	2,600	2,448	2,309	2,183	2,067	1,960	1,862	1,770	1,686	1,607	1,533	1,465	1,400	1,339	1,282	1,229	1,178	1,130	1,084	1,041	1,000
0,3	2,650	2,493	2,350	2,220	2,100	1,990	1,888	1,794	1,707	1,626	1,550	1,479	1,413	1,350	1,291	1,236	1,183	1,134	1,087	1,042	1,000
0,4	2,700	2,538	2,391	2,257	2,133	2,029	1,915	1,819	1,729	1,645	1,567	1,494	1,425	1,361	1,300	1,243	1,189	1,138	1,089	1,044	1,000
0,5	2,750	2,583	2,432	2,293	2,167	2,050	1,942	1,843	1,750	1,664	1,583	1,508	1,438	1,371	1,309	1,250	1,194	1,142	1,092	1,045	1,000
0,6	2,800	2,629	2,473	2,330	2,200	2,080	1,969	1,867	1,771	1,683	1,600	1,523	1,450	1,382	1,318	1,257	1,200	1,146	1,095	1,046	1,000
0,7	2,850	2,674	2,514	2,367	2,233	2,110	1,996	1,891	1,793	1,702	1,616	1,537	1,463	1,392	1,326	1,264	1,206	1,150	1,097	1,047	1,000
0,8	2,900	2,719	2,555	2,404	2,267	2,140	2,023	1,915	1,814	1,721	1,633	1,552	1,475	1,403	1,335	1,271	1,211	1,154	1,100	1,049	1,000
0,9	2,950	2,764	2,595	2,441	2,300	2,170	2,050	1,939	1,836	1,740	1,650	1,566	1,488	1,414	1,344	1,279	1,217	1,158	1,103	1,050	1,000
1,0	3,000	2,810	2,636	2,478	2,333	2,200	2,077	1,963	1,857	1,759	1,667	1,581	1,500	1,424	1,353	1,286	1,222	1,162	1,105	1,051	1,000
1,1	3,050	2,855	2,677	2,515	2,367	2,230	2,104	1,987	1,879	1,778	1,683	1,595	1,513	1,435	1,362	1,293	1,228	1,166	1,108	1,053	1,000
1,2	3,100	2,900	2,718	2,552	2,400	2,260	2,131	2,011	1,900	1,797	1,700	1,610	1,525	1,445	1,371	1,300	1,233	1,170	1,111	1,054	1,000
1,3	3,150	2,945	2,759	2,589	2,433	2,290	2,158	2,035	1,921	1,816	1,017	1,624	1,538	1,456	1,379	1,307	1,239	1,174	1,113	1,055	1,000
1,4	3,200	2,990	2,800	2,626	2,467	2,320	2,185	2,059	1,943	1,834	1,733	1,639	1,550	1,467	1,388	1,314	1,244	1,178	1,116	1,056	1,000
1,5	3,250	3,036	2,841	2,663	2,500	2,350	2,212	2,083	1,964	1,853	1,750	1,653	1,563	1,477	1,397	1,321	1,250	1,192	1,118	1,058	1,000

Таблица Е.4

β_k	$k_{ц} = 2$																				
	n_0																				
	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90	2,95	3,00
	Π_{2a}																				
0,1	0,600	0,583	0,567	0,551	0,536	0,522	0,509	0,496	0,483	0,471	0,460	0,449	0,438	0,428	0,419	0,409	0,400	0,391	0,383	0,375	0,367
0,2	0,700	0,678	0,657	0,637	0,618	0,600	0,583	0,566	0,550	0,535	0,520	0,506	0,492	0,479	0,467	0,455	0,443	0,432	0,421	0,410	0,400
0,3	0,800	0,773	0,749	0,723	0,700	0,678	0,657	0,636	0,617	0,598	0,580	0,563	0,546	0,530	0,515	0,500	0,486	0,472	0,459	0,446	0,433
0,4	0,900	0,868	0,838	0,809	0,782	0,756	0,730	0,706	0,683	0,661	0,640	0,620	0,600	0,581	0,563	0,545	0,529	0,512	0,497	0,481	0,467
0,5	1,000	0,963	0,929	0,895	0,864	0,833	0,804	0,777	0,750	0,724	0,700	0,676	0,654	0,632	0,611	0,591	0,571	0,553	0,534	0,517	0,500
0,6	1,100	1,059	1,019	0,981	0,945	0,911	0,878	0,847	0,817	0,788	0,760	0,733	0,708	0,683	0,659	0,636	0,614	0,593	0,572	0,553	0,533
0,7	1,200	1,154	1,110	1,067	1,027	0,989	0,952	0,917	0,883	0,851	0,820	0,790	0,762	0,734	0,707	0,682	0,657	0,633	0,610	0,588	0,567
0,8	1,300	1,249	1,200	1,153	1,109	1,067	1,026	0,987	0,950	0,914	0,880	0,847	0,815	0,785	0,756	0,727	0,700	0,674	0,648	0,624	0,600
0,9	1,400	1,344	1,290	1,240	1,191	1,144	1,100	1,057	1,017	0,978	0,940	0,904	0,869	0,836	0,804	0,773	0,743	0,714	0,686	0,659	0,633
1,0	1,500	1,439	1,381	1,326	1,273	1,222	1,174	1,128	1,083	1,041	1,000	0,961	0,923	0,887	0,852	0,818	0,786	0,754	0,724	0,695	0,667
1,1	1,600	1,534	1,471	1,412	1,355	1,300	1,248	1,198	1,150	1,104	1,060	1,018	0,977	0,938	0,900	0,864	0,829	0,795	0,762	0,731	0,700
1,2	1,700	1,629	1,562	1,498	1,436	1,378	1,322	1,268	1,217	1,167	1,120	1,075	1,031	0,989	0,948	0,909	0,871	0,835	0,800	0,766	0,733
1,3	1,800	1,724	1,652	1,584	1,518	1,456	1,396	1,338	1,283	1,231	1,180	1,131	1,085	1,040	0,996	0,955	0,914	0,875	0,838	0,802	0,767
1,4	1,900	1,820	1,743	1,670	1,600	1,533	1,470	1,409	1,350	1,294	1,240	1,188	1,138	1,091	1,044	1,000	0,957	0,916	0,876	0,837	0,800
1,5	2,000	1,915	1,833	1,756	1,682	1,611	1,543	1,479	1,417	1,357	1,300	1,245	1,192	1,142	1,093	1,045	1,000	0,956	0,914	0,873	0,833

Таблица Е.5

β_k	$K_{ц} = 2$																				
	n_0																				
	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90	2,95	3,00
	Π_{3a}																				
0,1	1,550	1,499	1,450	1,403	1,359	1,317	1,276	1,237	1,200	1,164	1,130	1,097	1,065	1,035	1,006	0,977	0,950	0,924	0,898	0,874	0,850
0,2	1,600	1,546	1,495	1,447	1,400	1,356	1,313	1,272	1,233	1,196	1,160	1,125	1,092	1,060	1,030	1,000	0,971	0,944	0,917	0,892	0,867
0,3	1,650	1,594	1,540	1,490	1,441	1,394	1,350	1,307	1,267	1,228	1,190	1,154	1,119	1,086	1,054	1,023	0,993	0,964	0,936	0,909	0,883
0,4	1,700	1,641	1,586	1,533	1,482	1,433	1,387	1,343	1,300	1,259	1,220	1,182	1,146	1,111	1,078	1,045	1,014	0,984	0,955	0,927	0,900
0,5	1,750	1,689	1,631	1,576	1,523	1,472	1,424	1,378	1,333	1,291	1,250	1,211	1,173	1,137	1,102	1,068	1,036	1,004	0,974	0,945	0,917
0,6	1,800	1,737	1,676	1,619	1,564	1,511	1,461	1,413	1,367	1,322	1,280	1,239	1,200	1,162	1,126	1,091	1,057	1,025	0,993	0,963	0,933
0,7	1,850	1,784	1,721	1,662	1,605	1,550	1,498	1,448	1,400	1,354	1,310	1,268	1,227	1,188	1,150	1,114	1,079	1,045	1,012	0,981	0,950
0,8	1,900	1,832	1,767	1,705	1,645	1,589	1,535	1,483	1,433	1,386	1,340	1,296	1,254	1,213	1,174	1,136	1,100	1,065	1,031	0,998	0,967
0,9	1,950	1,879	1,812	1,748	1,686	1,628	1,572	1,518	1,467	1,417	1,370	1,325	1,281	1,239	1,198	1,159	1,121	1,085	1,050	1,016	0,983
1,0	2,000	1,927	1,857	1,791	1,727	1,667	1,609	1,553	1,500	1,449	1,400	1,353	1,308	1,264	1,222	1,182	1,143	1,105	1,069	1,034	1,000
1,1	2,050	1,974	1,902	1,834	1,768	1,706	1,646	1,588	1,533	1,481	1,430	1,381	1,335	1,290	1,246	1,205	1,164	1,125	1,088	1,052	1,017
1,2	2,100	2,022	1,948	1,877	1,809	1,744	1,683	1,623	1,567	1,512	1,460	1,410	1,362	1,315	1,270	1,227	1,186	1,146	1,107	1,069	1,033
1,3	2,150	2,070	1,993	1,920	1,850	1,783	1,720	1,659	1,600	1,544	1,490	1,438	1,388	1,341	1,294	1,250	1,207	1,166	1,126	1,087	1,050
1,4	2,200	2,117	2,038	1,963	1,891	1,822	1,757	1,694	1,633	1,576	1,520	1,467	1,415	1,366	1,319	1,273	1,229	1,186	1,145	1,105	1,067
1,5	2,250	2,165	2,083	2,006	1,932	1,861	1,793	1,729	1,667	1,607	1,550	1,495	1,442	1,392	1,343	1,295	1,250	1,206	1,164	1,123	1,083

Таблица Е.6

β_k	$k_{ц} = 3$																				
	n_0																				
	3,00	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,35	3,40	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00
	Π_{2a}																				
0,1	0,433	0,425	0,416	0,408	0,400	0,392	0,385	0,378	0,371	0,364	0,357	0,351	0,344	0,338	0,332	0,327	0,321	0,316	0,310	0,305	0,300
0,2	0,533	0,521	0,510	0,498	0,488	0,477	0,467	0,457	0,447	0,438	0,429	0,420	0,411	0,403	0,395	0,387	0,379	0,371	0,364	0,357	0,350
0,3	0,633	0,618	0,603	0,589	0,575	0,562	0,548	0,536	0,524	0,512	0,500	0,489	0,478	0,467	0,457	0,447	0,437	0,427	0,418	0,409	0,400
0,4	0,733	0,715	0,697	0,679	0,663	0,646	0,630	0,615	0,600	0,586	0,571	0,558	0,544	0,532	0,519	0,507	0,495	0,483	0,472	0,461	0,450
0,5	0,833	0,811	0,790	0,770	0,750	0,731	0,712	0,694	0,676	0,659	0,643	0,627	0,611	0,596	0,581	0,567	0,553	0,539	0,526	0,513	0,500
0,6	0,933	0,908	0,884	0,860	0,838	0,815	0,794	0,773	0,753	0,733	0,714	0,696	0,678	0,660	0,643	0,627	0,611	0,595	0,579	0,565	0,550
0,7	1,033	1,005	0,977	0,951	0,925	0,900	0,876	0,852	0,829	0,807	0,786	0,765	0,744	0,725	0,705	0,687	0,668	0,651	0,633	0,616	0,600
0,8	1,133	1,102	1,071	1,041	1,013	0,985	0,958	0,931	0,906	0,881	0,857	0,834	0,811	0,789	0,768	0,747	0,726	0,706	0,687	0,668	0,650
0,9	1,233	1,198	1,165	1,132	1,100	1,069	1,039	1,010	0,982	0,955	0,929	0,903	0,878	0,853	0,830	0,807	0,784	0,762	0,741	0,720	0,700
1,0	1,333	1,295	1,258	1,222	1,188	1,154	1,121	1,090	1,059	1,029	1,000	0,972	0,944	0,918	0,892	0,867	0,842	0,818	0,795	0,772	0,750
1,1	1,433	1,392	1,352	1,313	1,275	1,238	1,203	1,169	1,135	1,103	1,071	1,041	1,011	0,982	0,954	0,927	0,900	0,874	0,849	0,824	0,800
1,2	1,533	1,489	1,445	1,403	1,363	1,323	1,285	1,248	1,212	1,177	1,143	1,110	1,078	1,047	1,016	0,987	0,958	0,930	0,903	0,876	0,850
1,3	1,633	1,585	1,539	1,494	1,450	1,408	1,367	1,327	1,288	1,251	1,214	1,179	1,144	1,111	1,078	1,047	1,016	0,986	0,956	0,928	0,900
1,4	1,733	1,682	1,632	1,584	1,530	1,492	1,448	1,406	1,365	1,325	1,286	1,248	1,211	1,175	1,141	1,107	1,074	1,042	1,010	0,980	0,950
1,5	1,833	1,779	1,726	1,675	1,625	1,577	1,530	1,485	1,441	1,399	1,357	1,317	1,278	1,240	1,203	1,167	1,132	1,097	1,064	1,032	1,000

Таблица Е.7

β_k	$k_{ц} = 3$																				
	n_0																				
	3,00	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,35	3,40	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00
	Π_{3a}																				
0,1	1,217	1,188	1,160	1,133	1,106	1,081	1,056	1,032	1,009	0,986	0,964	0,943	0,922	0,902	0,882	0,863	0,845	0,827	0,809	0,792	0,775
0,2	1,267	1,236	1,206	1,178	1,150	1,123	1,097	1,072	1,047	1,023	1,000	0,977	0,956	0,934	0,914	0,893	0,874	0,855	0,836	0,818	0,800
0,3	1,317	1,284	1,253	1,223	1,194	1,165	1,138	1,111	1,085	1,060	1,036	1,012	0,989	0,966	0,945	0,923	0,903	0,882	0,863	0,844	0,825
0,4	1,367	1,333	1,300	1,268	1,238	1,208	1,179	1,151	1,124	1,097	1,071	1,046	1,022	0,999	0,976	0,953	0,932	0,910	0,890	0,870	0,850
0,5	1,417	1,381	1,347	1,313	1,281	1,250	1,220	1,190	1,162	1,134	1,107	1,081	1,056	1,031	1,007	0,983	0,961	0,938	0,917	0,896	0,875
0,6	1,467	1,430	1,394	1,359	1,325	1,292	1,261	1,230	1,200	1,171	1,143	1,115	1,089	1,063	1,038	1,013	0,989	0,966	0,944	0,922	0,900
0,7	1,517	1,478	1,440	1,404	1,369	1,335	1,302	1,269	1,238	1,208	1,179	1,150	1,122	1,095	1,069	1,043	1,018	0,994	0,971	0,947	0,925
0,8	1,567	1,526	1,487	1,449	1,413	1,377	1,342	1,309	1,276	1,245	1,214	1,185	1,156	1,127	1,100	1,073	1,047	1,022	0,997	0,973	0,950
0,9	1,617	1,575	1,534	1,494	1,456	1,419	1,383	1,349	1,315	1,282	1,250	1,219	1,189	1,160	1,131	1,103	1,076	1,050	1,024	0,999	0,975
1,0	1,667	1,623	1,581	1,540	1,500	1,462	1,424	1,388	1,353	1,319	1,286	1,254	1,222	1,192	1,162	1,133	1,105	1,078	1,051	1,025	1,000
1,1	1,717	1,671	1,627	1,585	1,544	1,504	1,465	1,428	1,391	1,356	1,321	1,288	1,256	1,224	1,193	1,163	1,134	1,106	1,078	1,051	1,025
1,2	1,767	1,720	1,674	1,630	1,588	1,546	1,506	1,467	1,429	1,393	1,357	1,323	1,289	1,256	1,224	1,193	1,163	1,134	1,105	1,077	1,050
1,3	1,817	1,768	1,721	1,675	1,631	1,588	1,547	1,507	1,468	1,430	1,393	1,357	1,322	1,288	1,255	1,223	1,192	1,162	1,132	1,103	1,075
1,4	1,867	1,816	1,768	1,721	1,675	1,631	1,588	1,546	1,506	1,467	1,429	1,392	1,356	1,321	1,286	1,253	1,221	1,190	1,159	1,129	1,100
1,5	1,917	1,865	1,815	1,766	1,719	1,673	1,629	1,586	1,544	1,504	1,464	1,426	1,389	1,353	1,318	1,283	1,250	1,218	1,186	1,155	1,025

Таблица Е.8

β_k	$k_{ц} = 4$																				
	n_0																				
	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70	4,75	4,80	4,85	4,90	4,95	5,00
	Π_{2a}																				
0,1	0,350	0,344	0,339	0,334	0,329	0,324	0,319	0,314	0,309	0,304	0,300	0,296	0,291	0,287	0,283	0,279	0,275	0,271	0,267	0,264	0,260
0,2	0,450	0,442	0,434	0,427	0,419	0,412	0,405	0,398	0,391	0,384	0,378	0,371	0,365	0,359	0,353	0,347	0,342	0,336	0,331	0,325	0,320
0,3	0,550	0,540	0,529	0,519	0,510	0,500	0,491	0,482	0,473	0,464	0,456	0,447	0,439	0,431	0,423	0,416	0,408	0,401	0,394	0,387	0,380
0,4	0,650	0,637	0,624	0,612	0,600	0,588	0,577	0,566	0,555	0,544	0,533	0,523	0,513	0,503	0,494	0,484	0,475	0,466	0,457	0,448	0,440
0,5	0,750	0,735	0,720	0,705	0,690	0,676	0,663	0,649	0,636	0,624	0,611	0,599	0,587	0,575	0,564	0,553	0,542	0,531	0,520	0,510	0,500
0,6	0,850	0,832	0,815	0,798	0,781	0,765	0,749	0,733	0,718	0,703	0,689	0,675	0,661	0,647	0,634	0,621	0,608	0,596	0,584	0,572	0,560
0,7	0,950	0,930	0,910	0,890	0,871	0,853	0,835	0,817	0,800	0,783	0,767	0,751	0,735	0,719	0,704	0,689	0,675	0,661	0,647	0,633	0,620
0,8	1,050	1,027	1,005	0,983	0,962	0,941	0,921	0,901	0,882	0,863	0,844	0,826	0,809	0,791	0,774	0,758	0,742	0,726	0,710	0,695	0,680
0,9	1,150	1,125	1,100	1,076	1,052	1,029	1,007	0,985	0,964	0,943	0,922	0,902	0,883	0,863	0,845	0,826	0,808	0,791	0,773	0,757	0,740
1,0	1,250	1,222	1,195	1,169	1,143	1,118	1,093	1,069	1,045	1,022	1,000	0,978	0,957	0,935	0,915	0,895	0,875	0,856	0,837	0,818	0,800
1,1	1,350	1,320	1,290	1,261	1,233	1,206	1,179	1,153	1,127	1,102	1,078	1,054	1,030	1,008	0,985	0,963	0,942	0,921	0,900	0,880	0,860
1,2	1,450	1,417	1,385	1,354	1,324	1,294	1,265	1,237	1,209	1,182	1,156	1,130	1,104	1,080	1,055	1,032	1,008	0,986	0,963	0,941	0,920
1,3	1,550	1,515	1,480	1,447	1,414	1,382	1,351	1,321	1,291	1,262	1,233	1,205	1,178	1,152	1,126	1,100	1,075	1,051	1,027	1,003	0,980
1,4	1,650	1,612	1,576	1,540	1,505	1,471	1,437	1,405	1,373	1,342	1,311	1,281	1,252	1,224	1,196	1,169	1,142	1,115	1,090	1,065	1,040
1,5	1,750	1,710	1,671	1,633	1,595	1,559	1,523	1,489	1,455	1,421	1,389	1,357	1,326	1,296	1,266	1,237	1,208	1,180	1,153	1,126	1,100

Таблица Е.9

β_k	$k_{ц} = 4$																				
	n_0																				
	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70	4,75	4,80	4,85	4,90	4,95	5,00
	Π_{3a}																				
0,1	1,050	1,030	1,011	0,992	0,974	0,956	0,938	0,921	0,905	0,888	0,872	0,857	0,841	0,826	0,812	0,797	0,783	0,770	0,756	0,743	0,730
0,2	1,100	1,079	1,059	1,039	1,019	1,000	0,981	0,963	0,945	0,928	0,911	0,895	0,878	0,862	0,847	0,832	0,817	0,802	0,788	0,774	0,760
0,3	1,150	1,128	1,106	1,085	1,064	1,044	1,024	1,005	0,986	0,968	0,950	0,932	0,915	0,898	0,882	0,866	0,850	0,835	0,819	0,805	0,790
0,4	1,200	1,177	1,154	1,131	1,110	1,088	1,067	1,047	1,027	1,008	0,989	0,970	0,952	0,934	0,917	0,900	0,883	0,867	0,851	0,835	0,820
0,5	1,250	1,225	1,201	1,178	1,155	1,132	1,110	1,089	1,068	1,048	1,028	1,008	0,989	0,970	0,952	0,934	0,917	0,899	0,883	0,866	0,850
0,6	1,300	1,274	1,249	1,224	1,200	1,176	1,153	1,131	1,109	1,088	1,067	1,046	1,026	1,006	0,987	0,968	0,950	0,932	0,914	0,897	0,880
0,7	1,350	1,323	1,296	1,270	1,245	1,221	1,197	1,173	1,150	1,128	1,106	1,084	1,063	1,042	1,022	1,003	0,983	0,964	0,946	0,928	0,910
0,8	1,400	1,372	1,344	1,317	1,290	1,265	1,240	1,215	1,191	1,167	1,144	1,122	1,100	1,078	1,057	1,037	1,017	0,997	0,978	0,959	0,940
0,9	1,450	1,420	1,391	1,363	1,336	1,309	1,283	1,257	1,232	1,207	1,183	1,160	1,137	1,115	1,093	1,071	1,050	1,029	1,009	0,989	0,970
1,0	1,500	1,469	1,439	1,410	1,381	1,353	1,326	1,299	1,273	1,247	1,222	1,198	1,174	1,151	1,128	1,105	1,083	1,062	1,041	1,020	1,000
1,1	1,550	1,518	1,487	1,456	1,426	1,397	1,369	1,341	1,314	1,287	1,261	1,236	1,211	1,187	1,163	1,139	1,117	1,094	1,072	1,051	1,030
1,2	1,600	1,567	1,534	1,502	1,471	1,441	1,412	1,383	1,355	1,327	1,300	1,274	1,248	1,223	1,198	1,174	1,150	1,127	1,104	1,082	1,060
1,3	1,650	1,615	1,582	1,549	1,517	1,485	1,455	1,425	1,395	1,367	1,339	1,312	1,285	1,259	1,233	1,208	1,183	1,159	1,136	1,113	1,090
1,4	1,700	1,664	1,629	1,595	1,562	1,529	1,498	1,467	1,436	1,407	1,378	1,349	1,322	1,295	1,268	1,242	1,217	1,192	1,167	1,143	1,120
1,5	1,750	1,713	1,677	1,642	1,607	1,574	1,541	1,509	1,477	1,447	1,417	1,387	1,359	1,331	1,303	1,276	1,250	1,224	1,199	1,174	1,150

Таблица Е.10

β_k	$k_{ц} = 5$																				
	n_0																				
	5,00	5,05	5,10	5,15	5,20	5,25	5,30	5,35	5,40	5,45	5,50	5,55	5,60	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,95	6,00
	Π_{2a}																				
0,1	0,300	0,296	0,292	0,288	0,285	0,281	0,277	0,274	0,270	0,267	0,264	0,260	0,257	0,254	0,251	0,248	0,245	0,242	0,239	0,236	0,233
0,2	0,400	0,394	0,388	0,383	0,377	0,371	0,366	0,361	0,356	0,350	0,345	0,341	0,336	0,331	0,326	0,322	0,317	0,313	0,308	0,304	0,300
0,3	0,500	0,492	0,484	0,477	0,469	0,462	0,455	0,448	0,441	0,434	0,427	0,421	0,414	0,408	0,402	0,396	0,390	0,384	0,378	0,372	0,367
0,4	0,600	0,590	0,580	0,571	0,562	0,552	0,543	0,535	0,526	0,517	0,509	0,501	0,493	0,485	0,477	0,470	0,462	0,455	0,447	0,440	0,433
0,5	0,700	0,688	0,676	0,665	0,654	0,643	0,632	0,621	0,611	0,601	0,591	0,581	0,571	0,562	0,553	0,543	0,534	0,526	0,517	0,508	0,500
0,6	0,800	0,786	0,773	0,759	0,746	0,733	0,721	0,708	0,696	0,684	0,673	0,661	0,650	0,639	0,628	0,617	0,607	0,597	0,586	0,576	0,567
0,7	0,900	0,884	0,869	0,853	0,838	0,824	0,809	0,795	0,781	0,768	0,755	0,741	0,729	0,716	0,704	0,691	0,679	0,668	0,656	0,645	0,633
0,8	1,000	0,982	0,965	0,948	0,931	0,914	0,898	0,882	0,867	0,851	0,836	0,822	0,807	0,793	0,779	0,765	0,752	0,738	0,725	0,713	0,700
0,9	1,100	1,080	1,061	1,042	1,023	1,005	0,987	0,969	0,952	0,935	0,918	0,902	0,886	0,870	0,854	0,839	0,824	0,809	0,795	0,781	0,767
1,0	1,200	1,178	1,157	1,136	1,115	1,095	1,075	1,056	1,037	1,018	1,000	0,982	0,964	0,947	0,930	0,913	0,897	0,880	0,864	0,849	0,833
1,1	1,300	1,276	1,253	1,230	1,208	1,186	1,164	1,143	1,122	1,102	1,082	1,062	1,043	1,024	1,005	0,987	0,969	0,951	0,934	0,917	0,900
1,2	1,400	1,374	1,349	1,324	1,300	1,276	1,253	1,230	1,207	1,185	1,164	1,142	1,121	1,101	1,081	1,061	1,041	1,022	1,003	0,985	0,967
1,3	1,500	1,472	1,445	1,418	1,392	1,367	1,342	1,317	1,293	1,269	1,245	1,223	1,200	1,178	1,156	1,135	1,114	1,093	1,073	1,053	1,033
1,4	1,600	1,570	1,541	1,513	1,485	1,457	1,430	1,404	1,378	1,352	1,327	1,303	1,279	1,255	1,232	1,209	1,186	1,164	1,142	1,121	1,100
1,5	1,700	1,668	1,637	1,607	1,577	1,548	1,519	1,491	1,463	1,436	1,409	1,383	1,357	1,332	1,307	1,283	1,259	1,235	1,212	1,189	1,167

Таблица Е.11

β_k	$k_{ц} = 5$																				
	n_0																				
	5,00	5,05	5,10	5,15	5,20	5,25	5,30	5,35	5,40	5,45	5,50	5,55	5,60	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,95	6,00
	Π_{3a}																				
0,1	0,950	0,935	0,921	0,906	0,892	0,879	0,865	0,852	0,839	0,826	0,814	0,801	0,789	0,777	0,766	0,754	0,743	0,732	0,721	0,711	0,700
0,2	1,000	0,984	0,969	0,953	0,938	0,924	0,909	0,895	0,881	0,868	0,855	0,841	0,829	0,816	0,804	0,791	0,779	0,768	0,756	0,745	0,733
0,3	1,050	1,033	1,017	1,000	0,985	0,969	0,954	0,939	0,924	0,910	0,895	0,882	0,868	0,854	0,841	0,828	0,816	0,803	0,791	0,779	0,767
0,4	1,100	1,082	1,065	1,048	1,031	1,014	0,998	0,982	0,967	0,951	0,936	0,922	0,907	0,893	0,879	0,865	0,852	0,838	0,825	0,813	0,800
0,5	1,150	1,131	1,113	1,095	1,077	1,060	1,042	1,026	1,009	0,993	0,977	0,962	0,946	0,931	0,917	0,902	0,888	0,874	0,860	0,847	0,833
0,6	1,200	1,180	1,161	1,142	1,123	1,105	1,087	1,069	1,052	1,035	1,018	1,002	0,986	0,970	0,954	0,939	0,924	0,909	0,895	0,881	0,867
0,7	1,250	1,229	1,209	1,189	1,169	1,150	1,131	1,113	1,094	1,077	1,059	1,042	1,025	1,008	0,992	0,976	0,960	0,945	0,930	0,915	0,900
0,8	1,300	1,278	1,257	1,236	1,215	1,195	1,175	1,156	1,137	1,118	1,100	1,082	1,064	1,047	1,030	1,013	0,997	0,980	0,964	0,949	0,933
0,9	1,350	1,327	1,305	1,283	1,262	1,240	1,220	1,200	1,180	1,160	1,141	1,122	1,104	1,085	1,068	1,050	1,033	1,016	0,999	0,983	0,967
1,0	1,400	1,376	1,353	1,330	1,308	1,286	1,264	1,243	1,222	1,202	1,182	1,162	1,143	1,124	1,105	1,087	1,069	1,051	1,034	1,017	1,000
1,1	1,450	1,425	1,401	1,377	1,354	1,331	1,308	1,286	1,265	1,244	1,223	1,202	1,182	1,162	1,143	1,124	1,105	1,087	1,069	1,051	1,033
1,2	1,500	1,474	1,449	1,424	1,400	1,376	1,353	1,330	1,307	1,285	1,264	1,242	1,221	1,201	1,181	1,161	1,141	1,122	1,103	1,085	1,067
1,3	1,550	1,523	1,497	1,471	1,446	1,421	1,397	1,373	1,350	1,327	1,305	1,282	1,261	1,239	1,218	1,198	1,178	1,158	1,138	1,119	1,100
1,4	1,600	1,572	1,545	1,518	1,492	1,467	1,442	1,417	1,393	1,369	1,345	1,323	1,300	1,278	1,256	1,235	1,214	1,193	1,173	1,153	1,133
1,5	1,650	1,621	1,593	1,566	1,538	1,512	1,486	1,460	1,435	1,411	1,386	1,363	1,339	1,316	1,294	1,272	1,250	1,229	1,208	1,187	1,167

Приложение Ж
(справочное)

Номограмма для определения продолжительности опорожнения трубопроводов

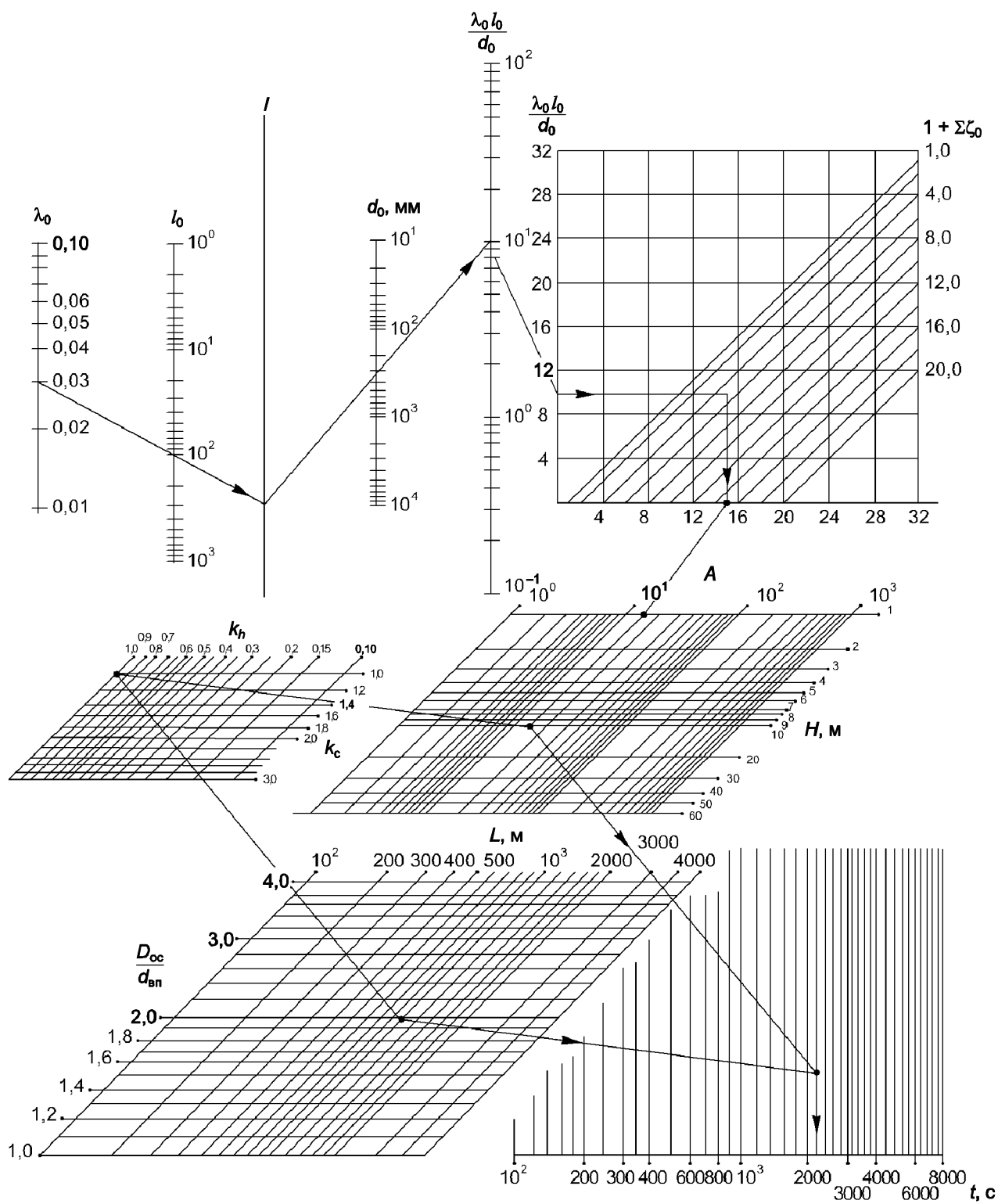


Рисунок Ж.1

Приложение К (справочное)

Примеры расчета системы водоснабжения

Пример К.1

Определить количество переключений на водоводе из двух ниток, протяженностью 3000 м каждая, диаметром 400 мм, из новых чугунных труб при обеспечении подачи воды в период аварии не менее 70 % от расчетного расхода воды: $Q_p = 0,31 \text{ м}^3/\text{с}$.

На насосной станции в начале водовода установлены четыре насоса марки Д 500-65 (два рабочих, $k_n = 2$, и два резервных).

Определим количество переключений на водоводе с учетом параметров насосного оборудования и коммуникаций в насосной станции по формулам (6.2), (6.4), (6.5). Из рабочей области насоса марки Д 500-65 ($D_k = 455$) выбираем две точки и по формуле (6.4) вычисляем $S_{\Phi 1}$.

$$S_{\Phi 1} = \frac{10^6}{\rho g} \cdot \frac{p_1 - p_2}{Q_1^2 - Q_2^2} = \frac{10^6}{10^3 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,736 - 0,569}{0,1667^2 - 0,0972^2} = 928,2 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Для двух насосов

$$S_{\Phi} = \frac{S_{\Phi 1}}{2^2} = 232,0.$$

Гидравлическое сопротивление водовода вычисляем по формуле

$$S_B = \frac{0,00119}{D_p^{5,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{v}\right)^{0,284} \cdot L = \frac{0,00119}{0,4014^{5,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{1,225}\right)^{0,284} \cdot 3000 = 602,3.$$

Потери давления в коммуникациях насосной станции принимаем $\Delta p_k = 0,03 \text{ МПа}$, тогда

$$S_k = \frac{10^6}{\rho g} \cdot \frac{\Delta p_k}{Q_{h.c.}} = \frac{10^6}{10^3 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,03}{0,31^2} = 31,8 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Количество участков, на которые должна быть разделена перемычками каждая нитка водовода, вычисляется по формуле (6.2):

$$n_1 = \frac{\rho_0^2 \cdot (2m_1 - 1) \cdot S_B}{m_1^2 \cdot (1 - \rho_0^2) \cdot (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_{\Phi 1} + S_k + \frac{S_B}{m_1^2}\right)} = \frac{0,7^2 \cdot (2 \cdot 2 - 1) \cdot 602,3}{2^2 \cdot (1 - 0,7^2) \cdot (2 - 1)^2 \cdot \left(232,0 + 31,8 + \frac{602,3}{2^2}\right)} = 1,05.$$

Данные расчета подтверждают, что водовод на участки делить не следует.

Коэффициент подачи воды при аварии на одной нитке водовода вычисляют по формуле (6.6):

$$\rho = \sqrt{\frac{n_1 \cdot (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_{\Phi} + S_k + \frac{S_B}{m_1^2}\right)}{(2m_1 - 1) \cdot S_B + (m_1 - 1)^2 \cdot \left(S_{\Phi} + S_k + \frac{S_B}{m_1^2}\right)}} = \sqrt{\frac{(2 - 1)^2 \cdot \left(231,7 + 31,2 + \frac{602,3}{2^2}\right)}{\frac{2 \cdot 2 - 1}{1 \cdot 2^2} \cdot 602,3 + (2 - 1)^2 \cdot \left(232,0 + 31,2 + \frac{602,3}{2^2}\right)}} = 0,69.$$

Следовательно, снижение подачи воды при аварии на водоводе составит: $100 - 0,69 \cdot 100 = 31 \%$.

Пример К.2

Произвести усиление водовода, обеспечивающего пропуск воды с 0,31 до 0,40 м³/с без изменения насосного оборудования на насосной станции. Исходные данные приняты из примера К.1. Включается третий рабочий насос ($k_n = 3$).

$$S_{B,y} = \frac{\frac{S_B}{m_1^2} - (\alpha_0^2 - 1) \cdot \left(\frac{S_{\Phi 1}}{k_n^2} + S_k\right)}{\alpha_0^2} = \frac{\frac{602,3}{2^2} - \left(\left(\frac{0,40}{0,31}\right)^2 - 1\right) \cdot \left(\frac{926,9}{3^2} + 18,75\right)}{\left(\frac{0,40}{0,31}\right)^2} = 48,28.$$

Сопротивление усиленного водовода определили по формуле (6.9):

$$S_1 = \left(\frac{\frac{S_B}{m_1^2} \cdot \sqrt{S_{B,y}} + S_{B,y} \cdot \sqrt{\frac{S_B}{m_1^2}}}{\frac{S_B}{m_1^2} - S_{B,y}} \right)^2 = \left(\frac{\frac{602,3}{4} \cdot \sqrt{48,28} + 48,28 \cdot \sqrt{\frac{602,3}{4}}}{\frac{602,3}{4} - 48,28} \right)^2 = 256,6.$$

Сопротивление дополнительной нитки водовода определили по формуле (6.8).

При длине дополнительной нитки 3000 м удельное сопротивление ее составит:

$$A_1 = \frac{S_1}{L} = \frac{256,6}{3000} = 0,08554.$$

Диаметр дополнительной нитки из чугунных труб определяем по формуле

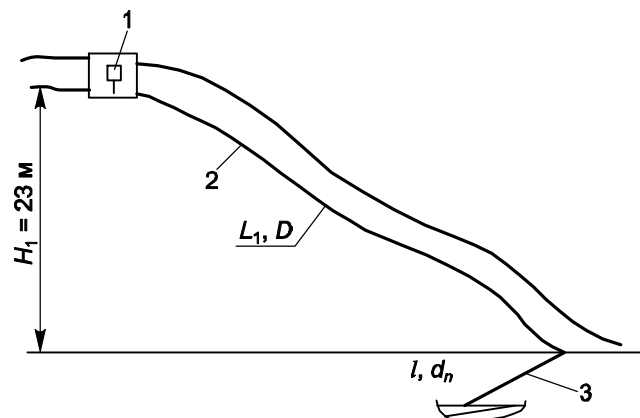
$$d = \left(\frac{0,001679}{A_1} \right)^{\frac{1}{5,284}} = \left(\frac{0,001679}{0,08554} \right)^{\frac{1}{5,284}} = 0,475 \text{ м.}$$

Поскольку такого диаметра по сортаменту чугунных труб нет, следует принять чугунные трубы диаметром 500 мм, тогда водовод будет с некоторым запасом по пропускной способности.

Пример К.3

Определить продолжительность опорожнения ремонтного участка водовода, приведенного на рисунке К.1 длиной 1800 м, уложенного из труб $D_1 = 400$ мм, через водовыпуск длиной 50 м и подобрать вантуз. Превышение верхней точки водовода у вантуза над выпуском $H_1 = 23,0$ м.

Принимаем диаметр выпуска $d_0 = 150$ мм.



1 — вантуз; 2 — ремонтный участок водовода; 3 — выпуск

Рисунок К.1 — Схема к расчету выпуска и вантуза водовода

По формулам (8.67) и (8.68) вычисляем значения величин a_0 и b_0 :

$$\lambda_0 = \frac{0,0144}{d_0^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{V} \right)^{0,284} = \frac{0,0144}{0,15^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{1} \right)^{0,284} = 0,0348;$$

$$a_0 = \frac{\left(\frac{D_1}{d_0} \right)^4 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_0 l_0}{d_0} + \zeta_0 \right)}{2g} = \frac{\left(\frac{400}{150} \right)^4 \cdot \left(1 + \frac{0,0348 \cdot 50}{0,15} + 1,5 \right)}{19,62} = 33,76;$$

$$\lambda_1 = \frac{0,0144}{d_p^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{V} \right)^{0,284} = \frac{0,0144}{0,4^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{1} \right)^{0,284} = 0,0264;$$

$$b_0 = \frac{\lambda_1 L_1}{2g D_1 H_1} = \frac{0,264 \cdot 1800}{19,62 \cdot 0,4 \cdot 23} = 0,263.$$

Время опорожнения основного ремонтируемого участка водовода определяется по формуле (8.71):

$$t = 2\sqrt{a_0} \cdot \frac{L_1}{\sqrt{H_1}} = 2 \cdot \sqrt{33,76} \cdot \frac{1800}{\sqrt{23}} = 4362 \text{ с} = 1 \text{ ч } 12 \text{ мин } 41 \text{ с},$$

что допустимо ($t \leq 2 \text{ ч}$).

Начальная скорость движения воды определяется по формуле (8.64):

$$v_1 = \sqrt{\frac{H_1}{a_0 + b_0 H}} = \sqrt{\frac{23}{33,76 + 0,263 \cdot 23}} = 0,76 \text{ м/с}.$$

Приняв $v_B = 50 \text{ м/с}$, по формуле (8.76) получим:

$$d_B = 400 \cdot \sqrt{\frac{0,76}{50}} = 49,3 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр вантуза $d_B = 50 \text{ мм}$.

Пример К.4

Определить диаметры участков тупиковой сети, показанной на рисунке К.2, при заданных узловых отборах и пьезометрах в начале сети и конечных точках. Исходные данные приведены на рисунке К.2.

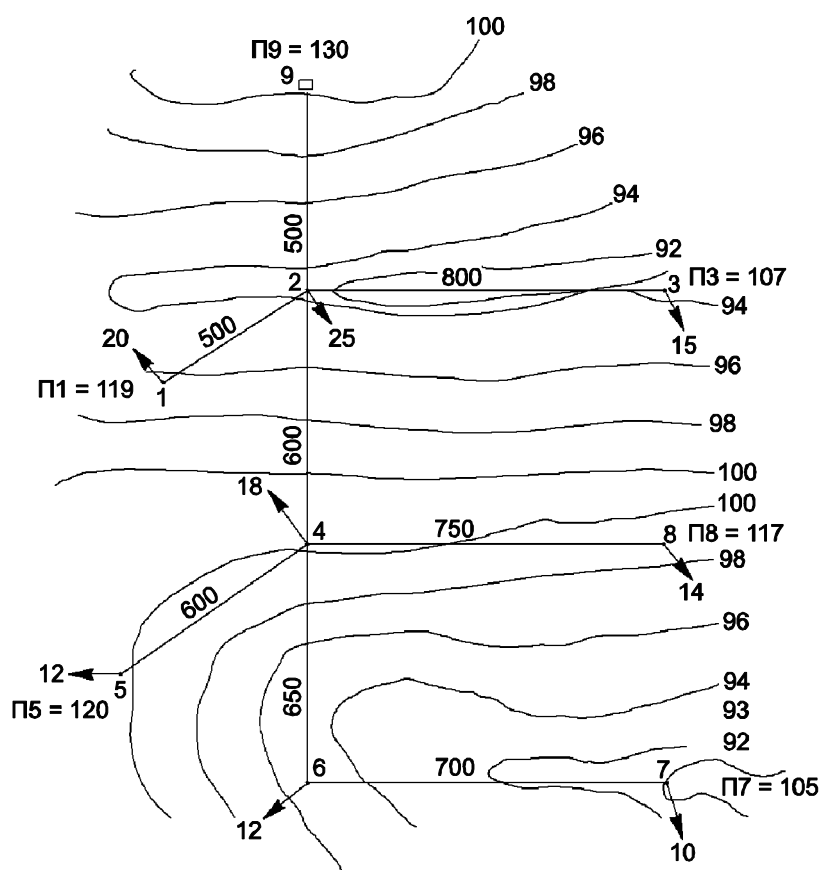


Рисунок К.2 — Схема тупиковой водопроводной сети

Расчет сети производим по двум методам:

- по предельным расходам;
- по оптимальному принципу.

Расчет тупиковой сети по предельным расходам

Расходы воды по участкам тупиковой сети приведены в таблице К.1.

По таблице В.2, приведенной в приложении В, подбираем диаметры труб участков разветвленной сети при $\Theta = 0,75$.

Расчет сводим в таблицу К.1.

Потери напора для чугунных труб определяем по [1].

Таблица К.1

Номер участка	Расход воды по участку, м ³ /с	Длина участка, м	Диаметр, потери давления и скорость по участкам сети		
			d, мм	Δp, МПа	v, м/с
1–2	0,020	500	150	0,0755	1,13
2–3	0,015	800	150	0,0706	0,85
2–4	0,066	600	300	0,0258	0,93
2–9	0,126	500	400	0,0179	1,00
4–5	0,012	600	150	0,0352	0,68
4–6	0,022	650	150	0,1167	1,24
4–8	0,014	750	150	0,0583	0,79
6–7	0,010	700	150	0,0294	0,57

Средневзвешенный диаметр, мм:

159,4 — по гидравлическому сопротивлению;

204,6 — по стоимости.

Расчет тупиковой сети по оптимальному принципу

Согласно исследованиям Кирсанова при заданных расходах по участкам тупиковой сети сеть будет оптимальной при условии соблюдения для каждого узла следующего уравнения:

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij}^{2\alpha} i_{ij}^{\frac{\alpha+m}{m}} = 0, \quad (\text{К.1})$$

где Q_{ij} — расход по ij -му участку сети, м/с;

α — показатель степени при диаметре в формуле (8.8);

i_{ij} — потери давления на ij -ом участке сети.

Составим для неизвестных трех узлов (2; 4; 6) уравнения согласно формуле (К.1):

$$-0,020^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{2-1}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,015^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{2-3}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,066^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{2-4}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} + 0,126^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{2-9}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} = 0; \quad (\text{К.2})$$

$$0,066^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{4-2}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,012^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{4-5}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,022^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{4-6}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,014^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{4-8}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} = 0; \quad (\text{К.3})$$

$$0,022^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{6-4}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} - 0,010^{\frac{3,2}{5,3}} \cdot i_{6-7}^{\frac{1,6+5,3}{5,3}} = 0. \quad (\text{К.4})$$

В уравнения (К.2) – (К.4) вместо i_{ij} подставим значение $\frac{\Pi_i - \Pi_j}{l_{ij}}$.

В результате получим следующие уравнения:

$$-0,020^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_2 - 119}{500} \right)^{-1,302} - 0,015^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_2 - 107}{800} \right)^{-1,302} - 0,066^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_2 - \Pi_4}{600} \right)^{-1,302} +$$

$$+ 0,126^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_2 - 130}{500} \right)^{-1,302} = 0; \quad (\text{К.5})$$

$$0,066^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_4 - \Pi_2}{600} \right)^{-1,302} - 0,012^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_4 - 120}{600} \right)^{-1,302} - 0,022^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_4 - \Pi_6}{650} \right)^{-1,302} -$$

$$- 0,014^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_4 - 117}{750} \right)^{-1,302} = 0; \quad (\text{К.6})$$

$$0,022^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_6 - \Pi_4}{650} \right)^{-1,302} - 0,010^{0,604} \cdot \left(\frac{\Pi_6 - 105}{700} \right)^{-1,302} = 0. \quad (\text{К.7})$$

Решение системы уравнений (К.5) – (К.7) дает следующие значения неизвестных пьезометров:

$\Pi_2 = 126,45$; $\Pi_4 = 122,68$; $\Pi_6 = 112,70$.

Дальнейшие расчеты тупиковой сети по оптимальному принципу сводим в таблицу К.2.

Таблица К.2

Номер участка	Расход воды по участку, м ³ /с	Длина участка, м	Диаметр участка сети по оптимальному принципу при разбивке участка на два со стандартными диаметрами						
			d_1 , мм	L_1 , м	Δp_1 , МПа	d_2 , мм	L_2 , м	Δp_2 , МПа	$\Delta p_1 + \Delta p_2$, МПа
1–2	0,020	500	150	500,0	0,07279	—	—	—	0,07279
2–3	0,015	800	100	206,5	0,1420	150	593,5	0,0487	0,1907
2–4	0,066	600	250	187,3	0,0202	300	412,5	0,0168	0,0370
2–9	0,126	500	300	156,5	0,0232	400	343,5	0,0117	0,0349
4–5	0,012	600	150	474,0	0,0248	200	126,0	0,0015	0,0263
4–6	0,022	650	150	528,7	0,0932	200	121,3	0,0047	0,0979
4–8	0,014	750	100	4,0	0,0024	150	746,0	0,0533	0,0556
6–7	0,010	700	100	185,8	0,0568	150	514,2	0,0187	0,0755

Усредненный диаметр, мм:

144 — по гидравлическому сопротивлению;

197,4 — по стоимости.

В таблице К.3 приведены результаты расчета по узлам расчетной схемы по двум методам расчета.

Таблица К.3

Номер узла	Отметка земли, м	Требуемый пьезометр, м	Свободное давление, МПа	Пьезометр, м, и свободное давление, МПа					
				по предельным расходам			по оптимальному принципу		
				Расчетный пьезометр	Свободное давление	+ (избыточное) – (недостаточное)	Расчетный пьезометр	Свободное давление	+ (избыточное) – (недостаточное)
1	97,0	119,0	0,2158	120,66	0,2321	+0,0163	119,03	0,2161	+0,0003
2	92,0	—	—	128,21	0,3552	—	126,45	0,3380	—
3	93,0	107,0	0,1373	121,15	0,2762	+0,1389	107,01	0,1374	+0,0001
4	100,0	—	—	125,63	0,2414	—	122,68	0,2225	—
5	100,0	120,0	0,1962	122,11	0,2169	+0,0207	120,00	0,1962	0,0000
6	95,0	—	—	113,96	0,1860	—	112,70	0,1736	—
7	91,0	105,0	0,1373	111,02	0,1964	+0,0591	105,00	0,1373	0,0000
8	99,0	117,0	0,1766	119,80	0,2040	+0,0274	117,00	0,1766	+0,0100
9	100,0	130,0	0,2943	130,00	0,2943	0,0000	130,00	0,2943	0,0000

Из таблицы К.3 следует, что расчет тупиковой сети по оптимальному принципу полностью использует имеющиеся геометрические разности между источником подачи воды (узел 9) и потребителями воды (узлы 3, 5, 7, 8).

Библиография

- [1] Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие. — 6-е изд., доп. и перераб. — М.: Стройиздат, 1984. — 116 с.
- [2] Санитарные правила и нормы Республики Беларусь
СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
- [3] Мошнин Л. Ф. Применение метода фиктивных расходов при проектировании СПРВ. — Водоснабжение и сантехника 1986, № 1, — с. 6–8.