

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКО ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра водоснабжения и водоотведения

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ  
КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань  
2014

УДК 628.142  
ББК 38.776  
Н90

Н90 Гидравлический расчет кольцевых водопроводных сетей с использованием ЭВМ: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: Ж.С. Нуруллин., И.Г. Шешегова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014. – 16 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Методические указания для курсового и дипломного проектирования, а также выполнения лабораторной работы студентами направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» составлены в соответствии с программой дисциплины «Водоснабжение».

В данной работе приведены методики гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей методами В.Г. Лобачева–Х. Кросса и М.М. Андрияшева, а также порядок выполнения гидравлического расчета с применением ЭВМ.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры химии и инженерной экологии государственного архитектурно-строительного университета

**А.В. Шарафутдинова**

УДК 628.142  
ББК 38.776

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2014

© Нуруллин Ж.С.,  
Шешегова И.Г., 2014

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Водоснабжение» и предназначены для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы, а также для выполнения гидравлического расчета водопроводных сетей при курсовом и дипломном проектировании для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение». В курсовой работе и дипломном проекте гидравлические расчеты водопроводной сети на все режимы работы проводятся на ПЭВМ.

В методических указаниях приведены методики гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей методами В.Г. Лобачева–Х. Кросса и М.М. Андрияшева, а также порядок выполнения гидравлического расчета с применением ЭВМ.

## 1. Цель работы

Закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков по расчету водопроводных сетей.

Изучение и освоение методов гидравлической «увязки» кольцевых водопроводных сетей ручным счетом и с применением ЭВМ.

## 2. Общие положения

Цель гидравлического расчета водопроводной сети – определение экономически выгодных диаметров участков и потерь напора в них. Потери напора необходимо знать для определения напора насосов НС-II и высоты водонапорной башни. Величины диаметров участков и потерь напора в них зависящие от расходов воды по участкам определяются по результатам предварительного потокораспределения и уточняются после гидравлической увязки.

Действительное распределение расходов воды по сети должно удовлетворять:

I закону Кирхгофа – в каждом узле должен соблюдаться баланс расходов  $\sum q_{уз} = 0$ ;

II закону Кирхгофа – в каждом кольце и по внешнему контуру сети суммарные потери напора должны быть равны нулю  $\sum \Delta h = 0$ .

Обычно предварительным потокораспределением найти истинное распределение расходов и потерь напора, соответствующее I и II законам Кирхгофа, не представляется возможным.

Увязка при автоматическом соблюдении I закона Кирхгофа достигается последовательным введением поправок к расходам на участках до тех пор, пока не будет выполняться II закон Кирхгофа.

Увязку сети выполняют итеративным способом путем последовательной корректировки начального потокораспределения при сохранении баланса расходов воды в узлах. Формальным признаком увязанной сети является равенство нулю алгебраической суммы потерь напора (невязок) во всех элементарных кольцах и по внешнему контуру.

Наибольшее распространения для увязки кольцевых водопроводных сетей получили: метод В.Г. Лобачева–Х. Кросса и метод М.М. Андрияшева.

Метод В.Г. Лобачева–Х. Кросса может быть использован как при ручном счете, так и при расчете на ЭВМ. Сущность метода заключается в том, что поправочные расходы одновременно вносятся во все элементарные кольца на каждой стадии итерационного процесса, а их значения определяют в зависимости от величин невязок.

Метод Андрияшева применяют при ручном счете, так как он включает в себя логические операции, трудно формализуемые и поэтому затрудняющие применение ЭВМ. Метод очень эффективный при наличии у исполнителя навыков расчета. Сущность метода заключается в том, что поправочные расходы могут вводиться как в отдельные элементарные кольца, так и в отдельные контуры, объединяющие несколько колец, причем как одновременно в несколько контуров, так и последовательно.

При ручном счете невязка в кольцах не должна превышать  $\pm 0,5$  м, а по внешнему контуру  $\pm 1,5$  м; при расчете на ЭВМ невязку целесообразно принимать в пределах  $\pm 0,1$  м.

### **3. Гидравлический расчет водопроводной сети по методу В.Г. Лобачева–Х. Кросса**

Увязка сети по этому методу ведется в табличной форме (табл. 1). Заполнение таблицы по увязке сети производится в следующей последовательности.

1. Заносятся номера колец (графа 1) и участков (графа 2) водопроводной сети, относящихся к данному кольцу, длины участков –  $l$  в метрах (графа 3); заносятся данные предварительного распределения расходов воды по участкам –  $q_0$ , в л/с (графа 4) и намеченные диаметры трубопроводов –  $d$ , мм (графа 5).

2. По таблице для гидравлического расчета труб [1], по величине расхода по участку и его диаметру определяется скорость движения воды –  $V$ , м/с и заносится в графу 6.

Таблица 1

Гидравлическая увязка водопроводной сети по методу В.Г. Лобачева–Х. Кросса

№ колец	№ участков	$l$ , м	Предварительное распределение расходов							
			$q_0$ , л/с	$d$ , мм	$V$ , М/с	$\delta$	$S_0$	$S=S_0\delta l$	$Sq_0$	$h = Sq_0^2$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

5

Продолжение таблицы 1

I исправление				II исправление				$i \dots$ Исправление				Поправка на $V$		
$\Delta q_I$ , л/с	$Q_I$ , л/с	$Sq_I$	$h$ , м	$\Delta q_{II}$ , л/с	$q_{II}$ , л/с	$Sq_{II}$	$H_I$ , м	$\Delta q_i$ , л/с	$q_i$ , л/с	$Sq_i$	$h_i$ , м	$V'$ , м/с	$\delta'$	$h'$ , м
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

3. Выписываются значения удельных сопротивлений труб –  $S_0$ , зависящие от диаметра участка и материала трубопровода. Величина  $S_0$  приводится для расходов в м<sup>3</sup>/с при скорости потока  $V = 1$  м/с. Для перехода к расходам в л/с величина  $S_0$  умножается на  $10^{-6}$ .

4. По фактической скорости движения воды в трубопроводе определяется поправочный коэффициент на скорость –  $\delta$  [1–3].

5. Вычисляется величина полного сопротивления трубопровода –  $S$  по формуле:

$$S = S_0 \delta l. \quad (1)$$

В целях уменьшения объема вычисления величина сопротивления –  $S$  в дальнейших расчетах принимается постоянной, без учета изменения расхода воды по участку.

6. Определяется промежуточная величина  $Sq_0$ .

7. Вычисляется величина потерь напора по участкам по формуле:

$$h = S q_0^2, \text{ м.} \quad (2)$$

Потери напора на участках с движением воды по часовой стрелке считаются положительными, а против часовой стрелки – отрицательными. Эти знаки заносятся в графу потерь напора на участках (графа 11). Потери напора на участках, принадлежащих двум кольцам – смежные участки, в разных кольцах имеют одинаковую величину, но противоположны по знакам.

8. Алгебраическим сложением потерь напора по участкам, принадлежащим отдельному кольцу, определяется невязка –  $\Delta h$ , м.

9. Определяется «увязочный» расход по кольцу –  $\Delta q_I$ :

$$\Delta q_I = - \frac{\pm \Delta h_0}{2 \Sigma S q_0}, \quad (3)$$

где  $\Sigma S q_0$  – сумма величин  $Sq_0$  по участкам кольца.

Для упрощения расчетов, полученный расход –  $\Delta q_I$  можно округлить.

**Необходимо учесть, что увязка всех колец водопроводной сети производится одновременно с учетом их взаимовлияния, т.е.  $\Delta h$  и  $\Delta q$  рассчитываются для всех колец одновременно.**

10. Производится корректировка расходов воды по участкам всех колец. Увязочный расход  $\Delta q_I$  пропускается по кольцу в направлении, обратном направлению невязки. Для участков сети, принадлежащим двум кольцам, увязочный расход определяется как алгебраическая сумма увязочных расходов от смежных колец.

11. Определяются «исправленные» расходы воды по участкам:

$$q_I = q_0 \pm \Sigma \Delta q_I. \quad (4)$$

12. Вычисляются потери напора по участкам сети и «невязки» в кольцах при измененных расходах. Расчеты производятся до тех пор, пока невязки по всем кольцам будут меньше допустимых величин: по отдельным кольцам  $\Delta h_i \leq 0,5$  м; по контуру сети  $\Delta h_k \leq 1,5$  м.

После окончания увязки по кольцам и по контуру производится определение потерь напора по участкам сети с введением поправочного коэффициента скорости –  $\delta'$ . Для этого по таблицам [1] определяются новые значения скоростей движения воды по участкам при «увязанных» расходах воды. По значениям измененных скоростей выписываются новые величины коэффициентов поправки на скорость –  $\delta'$ , и производится корректировка потерь напора по участкам сети по формуле:

$$h_i' = \Delta h_i \cdot \delta_i' / \delta_i, \quad (5)$$

где  $h_i'$  – потери напора на участке с учетом изменения скорости движения воды по сравнению с первоначально принятой;

$h_i$  – то же, по результатам последнего исправления;

$\delta_i$  – поправочный коэффициент на скорость по результатам предварительного распределения расходов;

$\delta_i'$  – то же, по скорости движения воды при расходах после увязки сети.

После определения действительных потерь напора производится проверка невязки в кольцах и по контуру сети и при необходимости дополнительная увязка.

Результаты гидравлической увязки сети по методу В.Г. Лобачева–Х. Кросса наносятся на схему сети.

#### **4. Гидравлический расчет водопроводной сети по методу М.М. Андрияшева**

По методу М.М. Андрияшева «увязка» сети может производиться путем внесения поправок как в отдельные наиболее «неувязанные» кольца, так и в контуры, объединяющие несколько отдельных колец или сеть в целом.

При «увязке» сети по методу М.М. Андрияшева рекомендуется [2–4] использовать следующие приемы:

1) объединять смежные кольца с «невязкой» одинакового знака в укрупненные контуры для совместной «увязки»;

2) производить «увязку» колец или контуров циклами (турами) попеременно, с «невязками» то одного, то другого знака;

3) «увязывать» в первую очередь кольца или контуры с наибольшими «невязками».

Величина «увязочного» расхода по выбранному контуру вычисляется по формуле (3), а для контуров, включающих в себя участки сети с мало отличающимися по длине и диаметру «увязочные» расходы, можно определять по упрощенной формуле:

$$\Delta q = q_{cp} \Delta h / 2 \Sigma h, \quad (6)$$

где  $q_{cp}$  – средняя арифметическая величина расхода по участкам, входящим в контур;

$\Delta h$  – «невязка по контуру»;

$\Sigma h$  – сумма потерь напора по участкам, входящим в контур по абсолютной величине.

Потери напора по участкам сети –  $h$  определяются по формуле:

$$h_i = 1000i \cdot l_i, \quad (7)$$

где  $1000i$  – гидравлический уклон трубопровода по [1] при протекающем расходе воды, м/км;

$l_i$  – длина участка сети, км.

Результаты всех вычислений по гидравлической «увязке» записываются непосредственно на схеме сети (рис. 1).

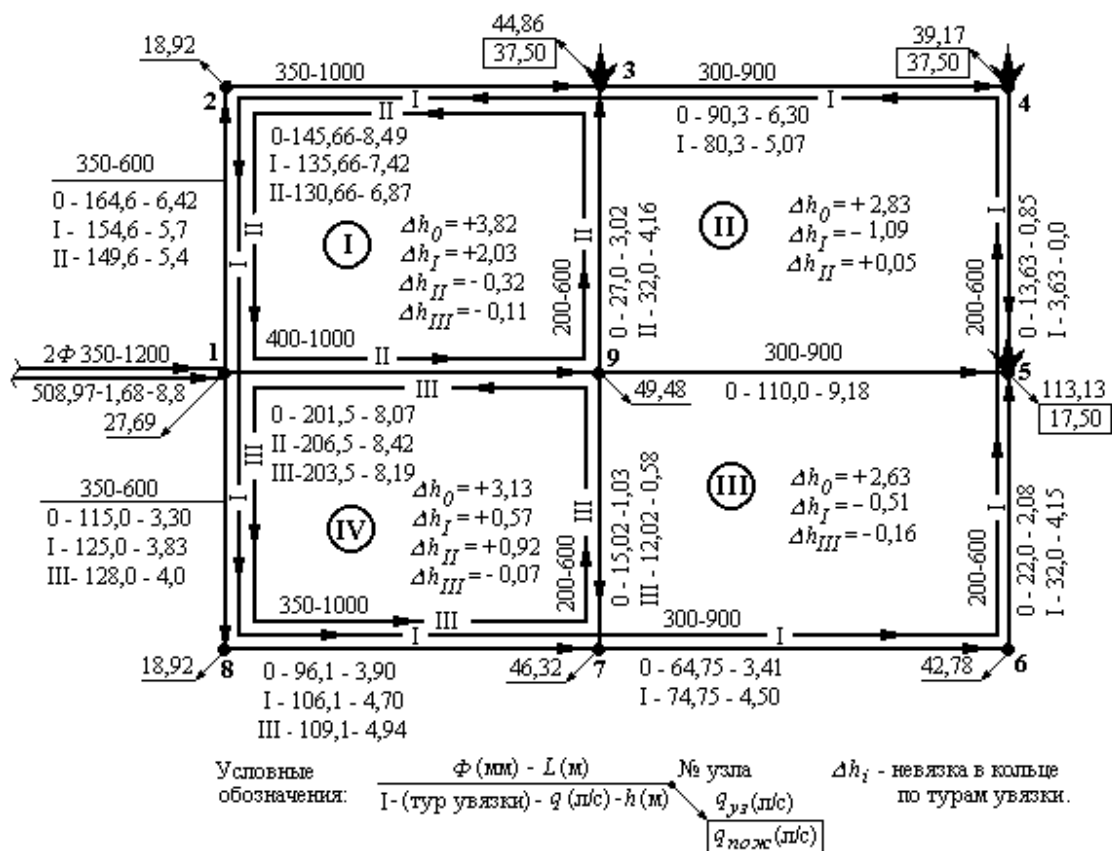


Рис. 1. «Увязка» водопроводной сети по методу М.М. Андрияшева при пожаротушении



## 5. «Увязка» водопроводной сети на ЭВМ

В настоящее время, с целью сокращения ручного труда и экономии рабочего времени проектировщика, гидравлическая «увязка» водопроводной сети производится на ЭВМ.

### 5.1. Подготовка исходных данных к гидравлической «увязке» на ЭВМ

Подготовка сети к гидравлической «увязке» на ЭВМ производится обычными приемами – определяются удельные, путевые и узловые расходы воды, производится предварительное потокораспределение и после этого производится подготовка информации для расчета на ЭВМ. Исходные данные для гидравлической «увязки» водопроводной сети на ЭВМ представляются в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные для расчета сети на ЭВМ

№ участка	Длина участка – $L$ , м	Диаметр участка – $D$ , м	Расходы воды – $q_{np}$ , л/с			$NI$	$NS$
			$Q_{хоз}$	$Q_{пож}$	$Q_{транз}$		
1	2	3	4	5	6	7	8

Исходные данные для расчета сети на ЭВМ

$N$  = (количество колец в рассчитываемой водопроводной сети);

$M$  = (общее количество участков в водопроводной сети);

$M1$  = (количество участков сети по кольцам сети);

$NI$  = (допустимая «невязка» в кольце водопроводной сети).

#### Примечания:

1) нумерация участков водопроводной сети производится последовательно по кольцам;

2) смежные участки нумеруются дважды;

3) диаметры участков сети записываются в метрах со знаком «+» (если трубы металлические) или со знаком «-» (если трубы неметаллические);

4) расходы воды по участкам принимаются по результатам предварительного потокораспределения и записываются со знаком «+» (если движение воды направлено по часовой стрелке) или со знаком «-» (если движение воды направлено против часовой стрелки);

5)  $NI$  – номер кольца, к которому относится расчетный участок;

6)  $NS$  – номер смежного кольца (если смежное «кольцо» отсутствует, то проставляется «0»).

## 5.2. Порядок работы на ЭВМ при гидравлическом расчете водопроводной сети

1. Включить ЭВМ.
2. На «рабочем столе» найти и открыть ярлык «VC».
3. В корневом каталоге курсором найти и открыть «папку» «PROGRAMM».
4. Найти и открыть «папку» «GIDRA».
5. Создать файл для набора исходных данных:
  - а) одновременно нажать клавиши «Shift» и «F4»;
  - б) в появившемся окне набрать название («имя») файла, где будут храниться исходные данные для гидравлической увязки водопроводной сети и нажать клавишу «Enter»;
  - в) на экране появится созданный файл, в который производится набор исходных данных по расчету сети на один из режимов работы.
6. Набрать исходные данные в следующей последовательности:
  - а) 1-ая строка – число «колец» в сети;
  - б) 2-ая строка – общее число расчетных участков сети;
  - в) 3-я строка – число расчетных участков по «кольцам» (числа набираются через интервал);
  - г) 4-ая строка – допустимая «невязка» в кольце сети;
  - д) 5-ая строка и последующие, через интервал – № участка; длина участка в метрах; диаметр участка в метрах со знаком «+» или со знаком «-»; расход воды по участку в л/с со знаком «+» или со знаком «-»; номер «кольца», в котором находится участок; номер смежного «кольца».
7. Сохранить набранные данные в памяти ЭВМ путем нажатия клавиши «F2». Для выхода из набора исходных данных нажать клавишу «Esc».
8. Запустить программу гидравлической увязки водопроводной сети путем перевода курсора на файл «gidra.exe» или «gidra-3.exe» с нажатием клавиши «Enter».
9. После появления на экране запроса, набрать имя файла с исходными данными и нажать клавишу «Enter».
10. Если исходные данные набраны верно, ЭВМ увязывает сеть и запрашивает имя файла, в который необходимо поместить результаты расчета. Необходимо набрать «имя» файла, отличное от имени файла с исход-

ными данными), где будут храниться результаты расчета, и нажать клавишу «**Enter**».

11. На экране появятся результаты расчета и запрос о необходимости вывести результаты расчета на печать. Необходимо набрать «**N**».

12. Если исходные данные набраны неверно, ЭВМ выдает данные об ошибке. Для проверки правильности набора исходных данных и внесения изменений необходимо:

а) курсором найти файл с исходными данными и нажать клавишу «**F4**»;

б) на экране появится созданный файл, со скопированными исходными данными;

в) внести изменения в исходные данные;

г) повторить пункты 7-11.

13. Провести гидравлическую увязку для другого режима работы сети:

а) курсором найти файл с исходными данными на первый расчетный режим работы сети, нажать клавишу «**F5**», в появившемся окне набрать измененное имя файла и нажать «**Enter**»;

б) курсором найти файл с измененным именем и нажать клавишу «**F4**»;

в) на экране появится созданный файл, со скопированными исходными данными;

г) изменить исходные данные (расходы воды по участкам) соответствующие другому расчетному режиму;

д) повторить пункты 7–11.

14) Получить результаты расчета:

а) на локальном диске «**C**» найти и открыть папку «**PROGRAMM**»;

б) найти и открыть «папку» «**GIDRA**»;

в) найти файл с результатами расчета и открыть его при помощи программы «**Блокнот**»;

г) на экране откроется документ с результатами расчета;

д) открывшийся документ либо отправить на печать, либо сохранить на электронном носителе.

### 5.3. Пример гидравлического расчета на ЭВМ

В результате подготовки к гидравлическому расчету в схеме произведено предварительное потокораспределение, выбран материал труб (напорные из полиэтилена ПЭ100 тип SDR 13,6 по ГОСТ 18599–2001), подобраны диаметры участков сети, проведена нумерация колец и участков сети (рис. 2).

Исходные данные для гидравлической «увязки» водопроводной сети на ЭВМ представлены в табл. 3.

Пример представления исходных данных для расчета водопроводной сети на ЭВМ

число колец в сети –  $N = 4$ ;

общее число расчетных участков в сети –  $M = 16$ ;

число расчетных участков сети по кольцам –  $M1 = 4, 4, 4, 4$ ;

допустимая невязка по кольцам  $H1 = 0,1$ .

Таблица 3

№ участка	Длина участка – L, м	Диаметр участка – D, м	Расходы воды – $q_{пр}$ , л/с			N1	NS
			$Q_{хоз.}$	$Q_{транз.}$	$Q_{пож.}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	670	-0.35	153,50			1	0
2	680	-0.35	108,69			1	0
3	670	-0.20	-10,00			1	4
4	660	-0.40	-166,26			1	2
5	660	-0.40	166,26			2	1
6	690	-0.20	-5,00			2	3
7	620	-0.40	-132,24			2	0
8	690	-0.35	-175,72			2	0
9	690	-0.20	5,00			3	2
10	870	-0.30	61,56			3	4
11	760	-0.20	-34,78			3	0
12	910	-0.25	-53,56			3	0
13	870	-0.30	-61,56			4	3
14	670	-0.20	10,00			4	1
15	870	-0.25	45,00			4	0
16	660	-0.20	49,22			4	0

Графы 5 и 6 заполняются аналогично по результатам предварительного распределения расходов воды для соответствующих режимов.

Результаты гидравлической увязки водопроводной сети приведены в табл. 4 и рис. 3.

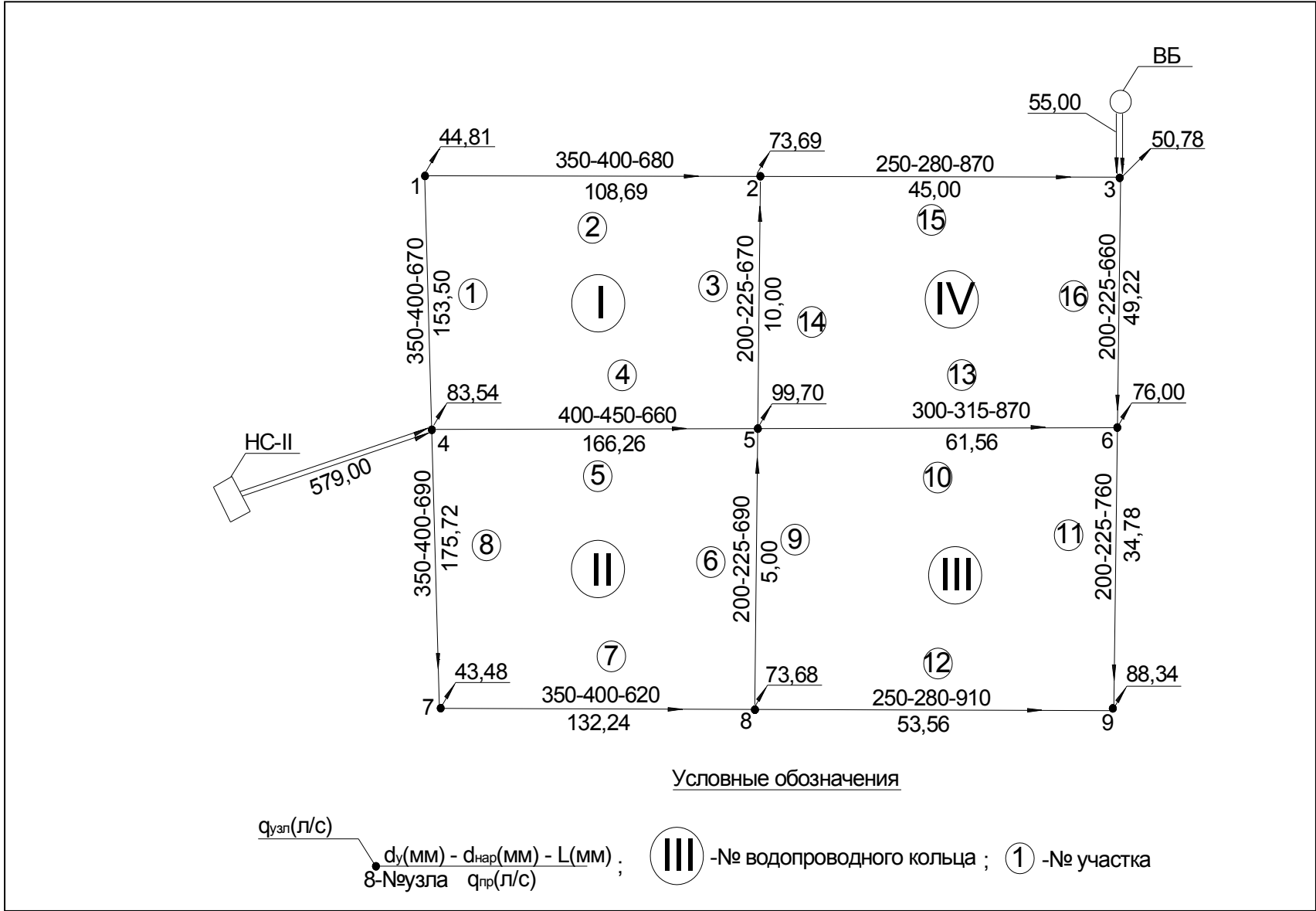


Рис. 2. Исходные данные для расчета сети на ЭВМ

Таблица 4

Исходные данные и результаты гидравлической увязки  
сети на ЭВМ при  $Q_{\text{макс.хоз.}}$

## INITIAL DATA

rings  $N = 4$ sections  $M = 16$ sections in ring  $M1 = 4, 4, 4, 4$ difference  $H1 = 0.1$ 

I	L	D	Q	N1	NS
1	670.0	-0.35	153.50	1	0
2	680.0	-0.35	108.69	1	0
3	670.0	-0.20	-10.00	1	4
4	660.0	-0.40	-166.26	1	2
5	660.0	-0.40	166.26	2	1
6	690.0	-0.20	-5.00	2	3
7	620.0	-0.35	-132.24	2	0
8	690.0	-0.35	-175.72	2	0
9	690.0	-0.20	5.00	3	2
10	870.0	-0.30	61.56	3	4
11	760.0	-0.20	-34.78	3	0
12	910.0	-0.25	-53.56	3	0
13	870.0	-0.30	-61.56	4	3
14	670.0	-0.20	10.00	4	1
15	870.0	-0.25	45.00	4	0
16	660.0	-0.20	49.22	4	0

## RESULT DATA

I	Q	V	H
1	133.73	1.39	3.22
2	88.92	0.92	1.53
3	-11.09	0.35	-0.50
4	-221.96	1.47	-4.23
5	221.96	1.47	4.23
6	15.54	0.49	0.96
7	-96.31	1.00	-1.62
8	-139.79	1.45	-3.60
9	-15.54	0.49	-0.96
10	95.63	1.35	4.78
11	-19.39	0.62	-1.58
12	-38.17	0.78	-2.22
13	-95.63	1.35	-4.78
14	11.09	0.35	0.50
15	26.33	0.54	1.07
16	30.55	0.97	3.18

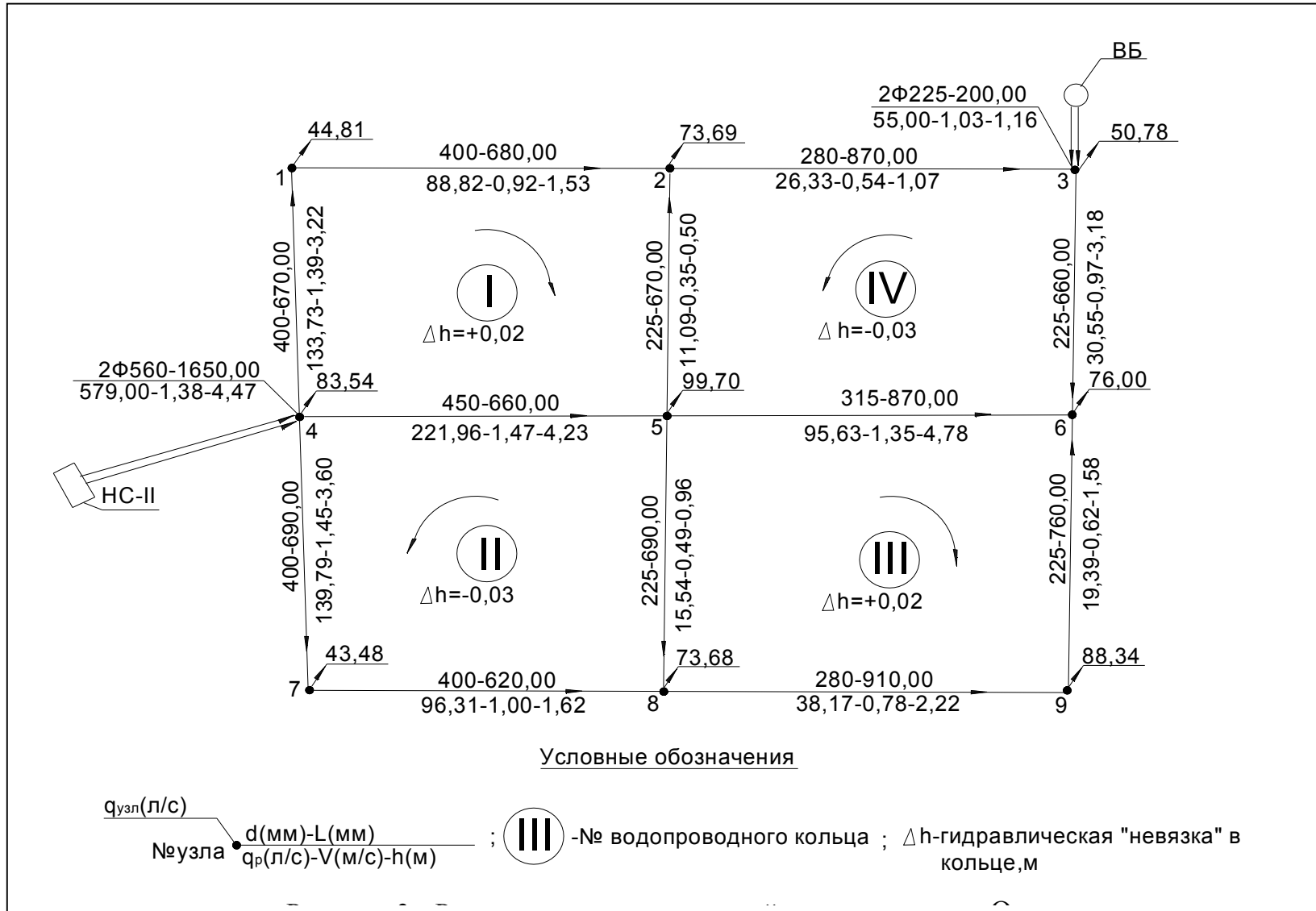


Рис.3. Результаты гидравлической увязки сети при  $Q_{\text{макс.хоз}}$

## Список литературы

1. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. - 8-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2007. – 336 с.
2. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. и др. Расчет водопроводных сетей. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
3. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник / под ред. Б.Н. Репина. – М.: Высш. шк., 1995. – 431 с.
4. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. – Т.3: Системы распределения и подачи воды. – Изд. 3-е, перераб. и доп.: учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 408 с.

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составители: Нуруллин Жядит Салихзянович,  
Шешегова Ирина Геннадьевна