

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Расчет кольцевых разветвленных гидравлических сетей с помощью компьютерных моделей</b>	10
1.1. Назначение и задачи гидравлического расчета	10
1.2. Основные расчетные зависимости для определения потерь давления	10
1.3. Пьезометрические графики	12
1.4. Схемы присоединения абонентов к тепловой сети	15
1.5. Гидравлические сети с повысительными, понизительными и смесительными насосными подстанциями	18
1.6. Гидравлические характеристики насосов и сети	20
1.7. Построение кривой экономии мощности при использовании насоса с регулируемым приводом	23
1.8. Теоретические основы расчета кольцевых разветвленных гидравлических сетей	24
1.9. Основные принципы разработки и построения компьютерных моделей гидравлических сетей	28
1.10. Применение компьютерных моделей для мониторинга систем теплоснабжения больших городов	32
1.11. Проектирование гидравлических сетей с помощью компьютерных моделей	42
1.12. Применение компьютерных моделей для анализа циркуляционных систем ТЭС	55
<b>Глава 2. Математическое моделирование теплообмена при течении жидкости в трубах и плоских каналах</b>	63
2.1. Расчет теплообмена при стержневом течении в плоскопараллельном канале	63
2.2. Теплообмен в плоском канале при параболическом распределении скорости	81
2.3. Нестационарный теплообмен в цилиндрическом канале при ламинарном течении жидкости	95
2.4. Теплообмен при течении Куэтта с учетом теплоты трения	115
2.5. Применение ортогональных методов взвешенных невязок к расчету теплообмена при течении жидкости в плоских каналах	124
2.6. Применение ортогональных методов взвешенных невязок к расчету теплообмена при течении жидкости в цилиндрических каналах	128

<b>Глава 3. Аналитические решения уравнений теплового и динамического пограничных слоев</b>	<b>132</b>
3.1. Гидродинамическая теория теплообмена	132
3.2. Динамический пограничный слой	135
3.3. Тепловой пограничный слой	137
3.4. Аналитические решения уравнений динамического пограничного слоя	138
3.5. Аналитические решения уравнений теплового пограничного слоя при граничных условиях первого рода на стенке	149
3.6. Аналитические решения уравнений теплового пограничного слоя при граничных условиях третьего рода на стенке	158
<b>Глава 4. Аналитические решения гиперболических уравнений для краевых задач гидродинамики</b>	<b>163</b>
4.1. Аналитические решения гиперболических уравнений движения при разгонном течении Куэтта	163
4.2. Распределение давлений по длине трубопровода в условиях гидравлического удара	181
4.3. Анализ распределения скоростей в условиях гидравлического удара	192
4.4. Математическое моделирование упругих продольных волн в жидкости с учетом ее релаксационных свойств	193
<b>Библиографический список</b>	<b>206</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В книге рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием энергетических процессов и систем. И, в частности, применительно к сложным многокольцевым разветвленным трубопроводным системам представлены исследования, связанные с построением их математических и компьютерных моделей, позволяющих находить распределение расходов, скоростей и давлений в движущихся жидкостях.

Рассматриваются также задачи, связанные с математическим моделированием гидродинамики и тепломассопереноса в движущихся жидкостях. Математические модели указанных процессов включают сложные линейные и нелинейные дифференциальные уравнения с соответствующими краевыми условиями. Известно, что точные аналитические решения в настоящее время получены лишь для задач в упрощенной математической постановке, когда не учитываются многие важные характеристики процессов (нелинейность, переменность свойств и граничных условий и прочие). Все это приводит к существенному отклонению математических моделей от реальных физических процессов, протекающих в конкретных энергетических установках. К тому же, точные решения выражаются сложными бесконечными функциональными рядами, которые в окрестностях граничных точек и при малых значениях временной координаты являются медленно сходящимися. Такие решения малопригодны для инженерных приложений и, особенно в случаях, когда решение температурной задачи является промежуточным этапом решения каких-либо других задач (термоупругости, обратных задач, задач управления и др.). В связи с чем, большой интерес представляют методы, позволяющие получать решения, хотя и приближенные, но в аналитической форме, с точностью, во многих случаях достаточной для инженерных приложений. Эти методы значительно расширяют круг задач, для которых могут быть получены аналитические решения, по сравнению с классическими методами. Отметим, что в ряде случаев с их помощью можно получать и точные аналитические решения, представляемые в форме бесконечных рядов.

Классическим точным аналитическим методом применительно к решению краевых задач гидродинамики, теплопроводности и тепломассопереноса является метод разделения переменных (Фурье), который лежит в основе всей аналитической теории краевых задач переноса. Однако при его использовании возникает необходимость нахождения функций, удовлетворяющих дифференциальным уравнениям краевой задачи, полученным после разделения переменных в исходном уравнении. Такие функции известны лишь для классических дифференциальных уравнений (Бесселя, Лежандра и др.). Собственные числа находятся из граничных условий краевой задачи путем решения трансцендентных уравнений. При сложных дифференциальных уравнениях, когда неизвестны функции, удовлетворяю-

щие им, трудности метода Фурье настолько возрастают, что во многих случаях он оказывается практически неприменимым.

Особое место среди приближенных аналитических методов, позволяющих получать аналитические решения на начальном участке временной (параболической) координаты, занимают методы, в которых используется понятие фронта температурного возмущения. Согласно этим методам весь процесс нагрева или охлаждения тел формально разделяется на две стадии. Первая из них характеризуется постепенным распространением фронта температурного возмущения от поверхности тела к его центру, а вторая – изменением температуры по всему объему тела вплоть до наступления стационарного состояния. Такое разделение теплового процесса по времени на две стадии позволяет осуществлять поэтапное решение задач нестационарной теплопроводности и для каждой из стадий в отдельности, как правило, уже в первом приближении находить удовлетворительные по точности достаточно простые и удобные в инженерных приложениях расчетные формулы. В то же время эти методы обладают и существенным недостатком, заключающимся в необходимости априорного выбора координатной зависимости искомой температурной функции. Обычно принимается квадратичная или кубическая парабола. Эта неоднозначность решения порождает проблему точности, так как, принимая заранее тот или иной профиль температурного поля, всякий раз будем получать различные конечные результаты.

Среди методов, в которых используется идея конечной скорости перемещения фронта температурного возмущения, наибольшее распространение получил интегральный метод теплового баланса [4, 13 – 22, 37, 43]. С его помощью уравнение в частных производных удастся свести к обыкновенному дифференциальному уравнению с заданными начальными условиями, решение которого довольно часто можно получить в замкнутом аналитическом виде. Интегральный метод, например, можно использовать для приближенного решения задач, когда теплофизические свойства не являются постоянными, а определяются сложной функциональной зависимостью, и задач, в которых совместно с теплопроводностью приходится также учитывать и конвекцию. В то же время интегральному методу присущ отмеченный выше недостаток – априорный выбор температурного профиля, что порождает проблему однозначности решения и приводит к низкой его точности.

Многочисленные примеры применения интегрального метода к решению задач теплопроводности приведены в работе Т. Гудмена [4]. В этой работе наряду с иллюстрацией больших его возможностей показана и его ограниченность. Так, несмотря на то, что многие задачи успешно решаются интегральным методом, существует целый класс задач, для которых этот метод практически неприменим. Это, например, задачи с импульсным изменением входных функций. Причина обусловлена тем, что температурный профиль в виде квадратичной или кубической параболы не соответствует истинному про-

филю температур для таких задач. Поэтому, если истинное распределение температуры в исследуемом теле принимает вид немонотонной функции, то получить удовлетворительное решение, согласующееся с физическим смыслом задачи, ни при каких условиях не удается.

Очевидный путь повышения точности интегрального метода – использование полиномиальных температурных функций более высокого порядка. В этом случае основные граничные условия и условия плавности на фронте температурного возмущения не являются достаточными для определения коэффициентов таких полиномов. В связи с чем, возникает необходимость поиска недостающих граничных условий, которые совместно с заданными позволили бы определять коэффициенты оптимального температурного профиля более высокого порядка, учитывающего все физические особенности исследуемой задачи. Такие дополнительные граничные условия могут быть получены из основных граничных условий и исходного дифференциального уравнения путем их дифференцирования в граничных точках по пространственной координате и по времени [13 – 16, 18 – 22].

При исследовании различных задач теплообмена предполагают, что теплофизические свойства не зависят от температуры, а в качестве граничных принимают линейные условия. Однако, если температура тела изменяется в широких пределах, то ввиду зависимости теплофизических свойств от температуры уравнение теплопроводности становится нелинейным. Его решение значительно усложняется, и известные точные аналитические методы оказываются неэффективными. Интегральный метод теплового баланса позволяет преодолеть многие трудности, связанные с нелинейностью краевых задач, как в основном уравнении, так и в граничных условиях. Этот метод эффективен применительно к решению краевых задач с переменными по пространственной координате физическими свойствами среды, с переменным начальным условием, с переменными во времени граничными условиями и источниками теплоты, задач гидродинамики и теплообмена для жидкостей, включая динамический и тепловой пограничные слои и других задач. Результаты исследований, связанные с получением аналитических решений некоторых перечисленных выше задач, представлены в настоящей книге.

В случаях, когда не удастся непосредственно проинтегрировать основное дифференциальное уравнение краевой задачи, применяют различные приближенные методы исследования – совместное использование методов Фурье и Бубнова-Галеркина, Фурье и Л.В. Канторовича, интегральных преобразований Лапласа и вариационных методов и др. Во всех этих методах по неограниченной области определения параболической (временной) переменной применяется точный метод (Фурье, интегральных преобразований и др.), а по ограниченной области изменения эллиптических (пространственных) координат – приближенный метод (вариационный, взвешенных

невязок, коллокаций и др.). После разделения переменных (или применения интегральных преобразований по временной координате) краевая задача относительно эллиптических координат решается одним из приближенных методов (Ритца, Бубнова-Галеркина и др.). Решение в данном случае разыскивается в виде конечного ряда, содержащего некоторые неизвестные коэффициенты и так называемые координатные функции, которые выбираются таким образом, чтобы при любых значениях неизвестных коэффициентов граничные условия краевой задачи выполнялись точно. Неизвестные коэффициенты решения находятся из выполнения обыкновенного дифференциального уравнения по пространственной переменной, полученного в результате разделения переменных (или применения интегрального преобразования) в основном дифференциальном уравнении краевой задачи. Для этого составляется невязка обыкновенного дифференциального уравнения и требуется ортогональность невязки ко всем координатным функциям (решение краевой задачи Штурма-Лиувилля). В итоге относительно неизвестных коэффициентов получается система алгебраических линейных уравнений, матрица которой, являясь заполненной квадратной матрицей с большим разбросом ее членов по абсолютной величине, как правило, плохо обусловлена. Алгебраические полиномы, получаемые из такого вида матриц, приводят к неточным значениям собственных чисел. Причем точность их нахождения с увеличением числа приближений может не улучшаться, а ухудшаться.

Таким образом, плохая обусловленность матриц систем алгебраических линейных уравнений, к решению которых приводят перечисленные выше приближенные аналитические методы, является главной причиной их недостаточной эффективности, связанной в основном с трудностями получения высокоточных решений ввиду принципиального ограничения по числу приближений.

Для преодоления указанных трудностей в работах [13 – 16, 18 – 22] предложены методы построения дополнительных граничных условий, являющихся эффективным средством решения проблемы плохой обусловленности матриц систем алгебраических линейных уравнений, что объясняется следующими обстоятельствами. При отсутствии дополнительных граничных условий принимаемое решение в виде алгебраического (или тригонометрического) полинома заранее точно удовлетворяет лишь граничным условиям задачи. Выполнение уравнения и начального условия осуществляется через решение соответствующих систем алгебраических линейных уравнений, имеющих плохо обусловленные матрицы. Основное отличие применения дополнительных граничных условий в том, что при их использовании искомое решение с самого начала точно удовлетворяет основным граничным условиям, а также дифференциальному уравнению и производным от него различного порядка, представляющим дополнительные граничные условия, в граничных точках и на фронте температурного возмущения (для задач, в которых такой фронт вво-

дится). Выполнение основных и дополнительных граничных условий также осуществляется через решение систем алгебраических линейных уравнений, однако в данном случае эта система является сильно разреженной (с большим количеством нулевых членов). Более того, ввиду применения дополнительных граничных условий, представляющих производные высокого порядка от искомой функции по пространственной переменной, система уравнений имеет цепочный вид. В связи с чем, неизвестные в большей части уравнений разделяются, и они легко могут быть найдены для достаточно большого числа приближений на точном аналитическом уровне. Поэтому проблема плохой обусловленности матриц в данном случае практически не возникает.

Отметим, что дополнительные граничные условия не входят в исходную математическую постановку, и поэтому они ее никоим образом не изменяют. Они являются лишь вспомогательным средством, применяемым на определенном этапе процесса получения решения задачи. Их физический смысл в том, что их выполнение искомым решением является выполнением исходного дифференциального уравнения и производных от него различного порядка в граничных точках (и на фронте температурного возмущения). И чем большее количество таких условий будет использовано, тем лучше будет выполняться исходное уравнение внутри рассматриваемой области в течение всего времени протекания процесса.

## ГЛАВА 1

### РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВЫХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

#### 1.1. Назначение и задачи гидравлического расчета

Тепловые сети современных городов представляют сложные кольцевые гидравлические системы, запитываемые от нескольких источников теплоты. При организации их работы важной проблемой является расчет и поддержание заданных расходов и давлений в различных точках сети. Расчеты указанных параметров в кольцевых сетях выполняются на основе двух уравнений Кирхгофа. Эти расчеты в конечном итоге сводятся к итеративному процессу определения невязок напоров в рассматриваемых точках системы. При большом количестве точек такие расчеты могут быть выполнены лишь при использовании компьютерной техники. Необходимым условием их выполнения является разработка и построение компьютерной модели теплосети, позволяющей практически полностью воспроизводить гидравлические процессы, протекающие в реальной системе.

Компьютерная модель позволяет рассчитать большое количество режимов работы теплосети и выбрать наиболее оптимальный из них. При этом имеется возможность проведения вычислительных экспериментов для моделирования различных вариантов работы сети, связанных с включением и отключением оборудования (насосов, задвижек и проч.), изменения диаметров трубопроводов, расходов теплоносителя, а также построения новых участков теплосети. В связи с чем, компьютерные модели представляют эффективный инструмент мониторинга любой сети, для которой такая модель построена.

#### 1.2. Основные расчетные зависимости для определения потерь давления

В практике эксплуатации тепловых сетей, а также при их проектировании, важнейшей задачей является определение потерь давления по длине какого-либо участка сети в случае, когда известен расход среды и геометрические данные (длина и диаметр трубопровода).

Формула для определения потерь давления имеет вид

$$\Delta p = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{м}}, \quad (1.1)$$

где  $\Delta p_{\text{л}}$  – линейное падение давления;  $\Delta p_{\text{м}}$  – падение давления в местных сопротивлениях (задвижки, краны, шайбы, изменения диаметров и конфигурации трубопроводов и прочее).

Единица измерения линейного падения давления  $\text{кгс}/\text{м}^2$  в системе МКГСС и  $\text{Н}/\text{м}^2$  в системе СИ.



Линейное падение давления на участке трубопровода длиной  $l$  определяется по формуле

$$\Delta p_{\text{л}} = R_{\text{л}} l, \quad (1.2)$$

где  $R_{\text{л}}$  – удельное линейное падение давления (падение давления на единицу длины трубопровода),  $(\text{кгс}/\text{м}^2)/\text{м}$  – в системе МКГСС;  $(\text{Н}/\text{м}^2)/\text{м}$  – в системе СИ;  $l$  – длина трубопровода,  $\text{м}$ .

Удельное линейное падение давления определяется по формуле

$$R_{\text{л}} = \lambda \frac{v^2}{2g} \frac{\gamma}{d}, \quad (1.3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $v$  – скорость движения теплоносителя,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$  – ускорение силы тяжести;  $\gamma$  – удельный вес жидкости,  $\text{кгс}/\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $d$  – внутренний диаметр трубы,  $\text{м}$ .

С учетом весового расхода  $B = vS\gamma$ ,  $\text{кгс}/\text{с}$ , где  $S = \pi d^2/4$ , формула (1.3) примет вид

$$R_{\text{л}} = \frac{0,8125 \lambda B^2}{\gamma g d^5}. \quad (1.4)$$

Формула для удельного линейного падения давления в системе СИ будет

$$R_{\text{л}} = \lambda \frac{v^2}{2} \frac{\rho}{d}. \quad (1.5)$$

Учитывая формулу массового расхода теплоносителя  $G = vS\rho$ ,  $\text{кг}/\text{с}$ , формула (1.5) приводится к виду

$$R_{\text{л}} = \frac{0,8125 \lambda G^2}{\rho d^5}. \quad (1.6)$$

Необходимо отметить, что удельный вес  $\gamma$  и весовой расход  $B$  в системе МКГСС численно равны плотности  $\rho$  и массовому расходу  $G$  в системе СИ.

Ввиду больших скоростей течения теплоносителя в тепловых сетях в большинстве случаев оказывается справедливым квадратичный закон сопротивления (гидравлические потери пропорциональны квадрату скорости). Поэтому коэффициент  $\lambda$ , как правило, определяется по формуле Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_{\text{э}}}{d} \right)^{0,25}, \quad (1.7)$$

где  $\Delta_{\text{э}}$  – эквивалентная шероховатость.

Формулы для определения падения давления в местных сопротивлениях соответственно в системах МКГСС и СИ имеют вид

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \xi \frac{v^2}{2g} \gamma; \quad (1.8)$$

$$\Delta p_m = \sum \xi \frac{v^2}{2} \rho, \quad (1.9)$$

где  $\xi$  – коэффициент местных потерь.

С учетом формул для весового и массового расхода теплоносителя соотношения (1.8), (1.9) примут вид

$$\Delta p_m = 0,8125 \sum \xi \frac{B^2}{\gamma g d^4}, \text{ кгс/м}^2; \quad (1.10)$$

$$\Delta p_m = 0,8125 \sum \xi \frac{G^2}{\rho d^4}, \text{ Н/м}^2. \quad (1.11)$$

### 1.3. Пьезометрические графики

В тепловых сетях для характеристики гидравлического потенциала наряду с давлением  $p$  используется напор  $H$ . Под напором понимается давление, выраженное в линейных единицах, как правило, в метрах столба жидкости, перемещаемой по трубопроводу, т.е.

$$H = p / \gamma, \quad (1.12)$$

где  $H$  – напор, м;  $p$  – давление теплоносителя, кгс/м<sup>2</sup> или Н/м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – удельный вес теплоносителя, кгс/м<sup>3</sup> или Н/м<sup>3</sup>.

Аналогичную формулу можно записать и для потерь напора

$$\Delta H = \Delta p / \gamma, \quad (1.13)$$

где  $\Delta p$  – падение давления или располагаемый перепад давлений.

Удельная линейная потеря напора, отнесенная к единице длины трубопровода, определяется по формуле

$$h_l = R_n / \gamma. \quad (1.14)$$

Формула (1.2) линейного падения давления с учетом (1.3) примет вид

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (1.15)$$

Формулы (1.8), (1.9) с учетом (1.13) приводятся к единой формуле

$$h_m = \sum \xi \frac{v^2}{2g}. \quad (1.16)$$

Гидравлический режим тепловой сети определяют многие факторы: геодезические отметки высот местности, высота зданий, потеря давления (напора) на участках сети и прочее. Все эти факторы в определенном масштабе отражаются на пьезометрических графиках. При использовании таких графиков различают полный напор, который отсчитывается от одного общего для всей сети условного горизонтального уровня, и пьезометрический напор (пьезометрическая высота), отсчитываемый от уровня прокладки оси трубопровода в данной точке.

В качестве конкретного примера рассмотрим пьезометрический график двухтрубной водяной сети, приведенной на рис. 1.1.

На рис. 1.1 величина  $\Delta H_1$  представляет напор, развиваемый сетевыми насосами ТЭЦ или котельной.

Исходя из условия надежной работы, к режиму давлений водяных тепловых сетей предъявляются следующие требования:

1. Избыточные давления (выше атмосферного) в обратных трубопроводах, а, следовательно, и в присоединенных к сети отопительных системах не должны превышать допустимых величин (6 *ати* для чугунных отопительных приборов). Отметим, что в прямых трубопроводах обеспечение допустимых давлений в отопительных приборах потребителей теплоты обеспечивается с помощью дросселирующих диафрагм (шайб).

2. Для предупреждения подсосов воздуха избыточные давления в тепловой сети и присоединенных отопительных системах должны быть не ниже 0,5 *ати*.

3. Из условия обеспечения бескавитационной работы сетевых насосов давление во всасывающей камере должно быть не ниже 0,5 *ати*.

4. Перепад давлений между прямым и обратным трубопроводом (располагаемый перепад давлений) не должен быть ниже допустимой величины (не менее 20 *м*). Этот перепад должен превышать потерю напора в отопительных системах потребителей. Если это условие невыполнимо (например, при отоплении высотных зданий), то на абонентских вводах устанавливаются повысительные насосные.

5. Необходимо обеспечивать не вскипание воды во всех трубопроводах тепловой сети и системах отопления абонентов. Ввиду того, что температура воды в прямом трубопроводе может превышать 100 °С, то при некотором давлении, большем атмосферного, может произойти ее вскипание. В связи с чем, на пьезометрический график наносится линия статического давления *SS*. Это линия, характеризующая давление вскипания жидкости в прямом трубопроводе при заданной температуре теплоносителя как при его движении, так и в неподвижном состоянии. Следовательно, давление в прямом трубопроводе не должно быть ниже статического давления. Так как температура воды в обратном трубопроводе всегда меньше 100 °С, то по условиям вскипания жидкости давление здесь не должно быть ниже атмосферного. В практике эксплуатации тепловых сетей для обеспечения не вскипания жидкости и предупреждения подсосов воздуха избыточное давление в обратном трубопроводе не должно быть ниже 0,5 *ати*.

При отсутствии повысительных и понизительных насосных внутри теплосети пьезометрическая линия прямого трубопровода всегда нисходящая. Наклон этой линии к плоскости отсчета *I – I* определяется потерями напора по длине трубы, которые, в свою очередь, зависят от рода теплоносителя, его расхода, шероховатости

стенок трубопровода и от других факторов. Пьезометрическая линия обратного трубопровода от точки  $B$  до точки  $B_2$  всегда восходящая. Наклон этой линии зависит от тех же факторов, которыми определяется наклон пьезометрической линии прямого трубопровода.

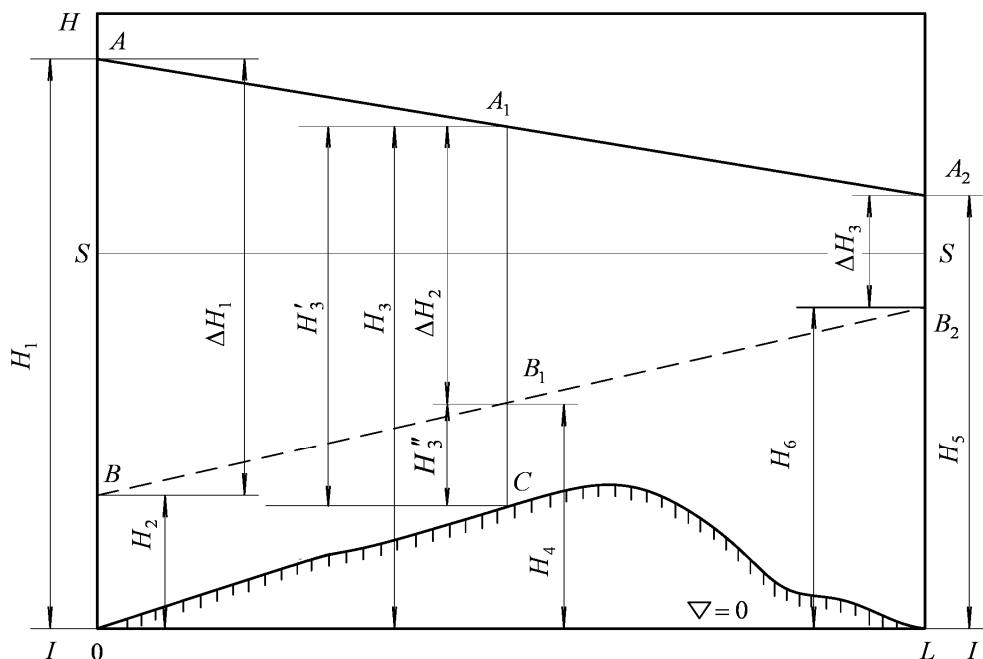


Рис. 1.1. Пьезометрический график для двухтрубной водяной тепловой сети:  
 — линия пьезометрических напоров прямого трубопровода;  
 - - - линия пьезометрических напоров обратного трубопровода;  
 ПППП — геодезическая отметка высоты местности; I — I — условная плоскость тсчета, имеющая геодезическую отметку высоты, равную нулю ( $V=0$ );  
 $H_1$  — пьезометрическая высота на входе в прямой трубопровод;  
 $H_2$  — пьезометрическая высота на выходе из обратного трубопровода;  
 $\Delta H_1$  — располагаемый напор на входе в теплосеть;  $H_3$  — полный напор в прямом трубопроводе у потребителя, расположенного в точке  $C$  местности;  
 $H'_3$  — пьезометрическая высота в прямом трубопроводе у потребителя в точке  $C$ ;  
 $H''_3$  — пьезометрическая высота в обратном трубопроводе у потребителя в  $C$ ;  
 $H_4$  — полный напор в обратном трубопроводе потребителя в точке  $C$ ;  
 $\Delta H_2$  — располагаемый напор у потребителя в точке  $C$ ;  $H_5$  — пьезометрическая высота в конечной точке прямого трубопровода;  $H_6$  — пьезометрическая высота на входе в обратный трубопровод;  $\Delta H_3$  — располагаемый напор в конечной точке теплосети;  $0L$  — длина трубопроводов;  $SS$  — линия статического напора

При малых расходах теплоносителя в коротких трубопроводах большого диаметра потери напора по их длине будут незначительны. Пьезометрические линии прямого и обратного трубопроводов в этом случае будут представлять линии, практически параллельные условной плоскости отсчета I — I.

Напор  $H_2$  в точке  $B$  задается подпиточными насосами станции (котельной). Создаваемый ими напор является базовым. Он не изменяется при любых изменениях параметров внутри сети, в том числе и при изменении наклона пьезометрической линии  $BB_2$  обратного трубопровода, величина которого определяется факторами, отмеченными выше.

#### 1.4. Схемы присоединения абонентов к тепловой сети

Тепловые сети бывают открытыми и закрытыми. Закрытыми называются сети, в которых отсутствует отбор воды на горячее водоснабжение. Так как расход теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах в этом случае неизменен, то при одинаковых диаметрах трубопроводов пьезометрические графики для них будут иметь одинаковый наклон, т.е. линии пьезометрических напоров в прямом и обратном трубопроводах будут симметричными.

Теплосети называются открытыми, если производится отбор воды на горячее водоснабжение. Ввиду уменьшения количества циркулирующей жидкости пьезометрическая линия трубопровода, из которого выполняется отбор воды, будет иметь меньший наклон, и в целом пьезометрический график становится несимметричным.

Подключение отопительных установок к тепловым сетям выполняется по зависимой и независимой схемам. При зависимой схеме подключения в отопительных установках абонентов используется тот же теплоноситель, который циркулирует в прямом и обратном трубопроводах. При независимой схеме в отопительных установках используется отдельный теплоноситель, нагреваемый в водоводяном теплообменнике потоком горячей воды, циркулирующей в прямом и обратном трубопроводах теплосети.

Ввиду того, что допустимое давление в отопительных установках может изменяться в относительно узком диапазоне, в зависимости от месторасположения абонентов, высоты зданий, располагаемого перепада давлений и других факторов применяются различные схемы подключения абонентов (см. рис. 1.2, 1.3 а, б, в, г, д).

На рис. 1.2 дана схема расположения абонентов I, II, III, IV, V на местности по длине теплосети. Схемы присоединения указанных абонентов в зависимости от их расположения, геодезической отметки высоты, высоты здания, располагаемого перепада давлений, давления в обратном трубопроводе и прочего даны на рис. 1.3 а, б, в, г, д. Выполним анализ каждой из этих схем.

Применительно к абоненту, обозначенному римской цифрой I, имеем следующие факторы: подлежащее отоплению здание имеет высоту менее 20 м, что не превышает уровень статического напора  $SS$ ; располагаемый перепад напоров составляет более 40 м и он вполне достаточен (превышает 20 м) для обеспечения теплоснабжения; напор в обратном трубопроводе около 20 м, что не превышает допустимых (50 м) величин. С учетом перечисленных факторов ото-

питательная установка абонента I может быть присоединена к тепловой сети по зависимой схеме с использованием элеватора в качестве смесительного устройства (см. рис. 1.3 а). Установленный на входе в элеватор регулятор расхода обеспечивает требуемый для его работы располагаемый перепад давлений (8 – 15 м), а также постоянный расход воды через отопительные установки.

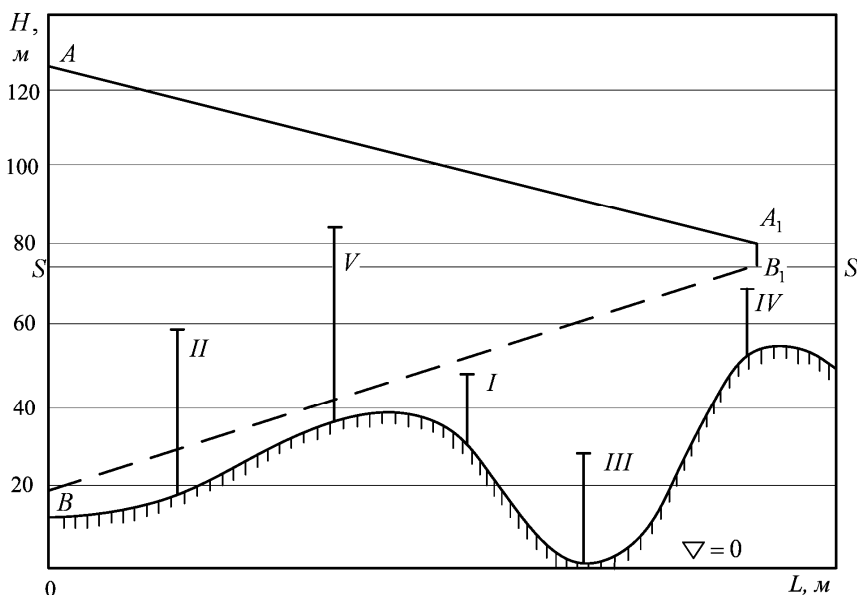


Рис. 1.2. Пьезометрический график двухтрубной тепловой сети:  
 - - - - - линия пьезометрических напоров в прямом трубопроводе;  
 — — — — — линия пьезометрических напоров в обратном трубопроводе; I, II, III, IV, V – объекты отопления

Здание абонента, обозначенного цифрой II, имеет следующие отличительные признаки: имеется достаточный располагаемый перепад напоров между прямым и обратным трубопроводами; высота здания (около 40 м) не превышает уровень статического напора SS, но она превышает величину напора в обратном трубопроводе, составляющего около 10 м. Учитывая перечисленные факторы, можно рекомендовать подключение абонента II по зависимой схеме с элеватором (см. рис. 1.3 б). Однако на обратной линии абонента следует установить регулятор давления «до себя», позволяющий повысить напор в обратном трубопроводе абонента до величины, превышающей высоту расположения отопительной установки здания. Для обеспечения необходимого располагаемого перепада давлений на входе в элеватор необходимо также предусмотреть регулятор расхода.

Отличительные признаки абонента под номером III следующие: высота здания не превышает уровень статического напора; располагаемый перепад давлений ( $\approx 30$  м) достаточен; здание расположено

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)