

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.3

Г. С. Леневский, канд. техн. наук, доц., Н. А. Автушенко**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СРЕДЕ MATLAB**

В статье рассмотрена методика получения математических моделей источников горячего водоснабжения магистральных трубопроводов в среде MATLAB, разработан алгоритм упрощения математического пакета.

Полученный алгоритм позволяет учесть влияние местных и линейных сопротивлений, геометрических перепадов в источниках горячего водоснабжения, упростить процесс моделирования как теплоисточника, так и всей системы в целом. Методика расчета носит универсальный характер и может быть использована при расчете, моделировании, оценке устойчивости гидравлических систем теплоснабжения и водоснабжения.

Введение

При расчете и моделировании переходных процессов в магистральных сетях горячего водоснабжения случай представления системы в виде «Насосный агрегат – Магистральная тепловая сеть» является крайне редким. При классическом представлении таких систем источником горячего водоснабжения являются тепловые источники: ТЭЦ и котельные.

В качестве исследуемого объекта используется источник горячего водоснабжения – Могилевская ТЭЦ-2. Данный объект относится к ТЭЦ, в которой конденсат пара от турбогенераторов по независимой схеме повышает температуру теплоносителя.

Система имеет достаточно сложную структуру: вода поступает от промышленных потребителей в обратный коллектор с давлением 0,2–0,3 МПа. Первая ступень представлена насосными агрегатами в количестве шести штук, которые повышают давление до 0,4 МПа. Далее вода по контурам протекания поступает на пиковые бойлеры (ПБ) и подогреватели сетевой воды (ПСВ), в которых температура теплоносителя повышается посредством нагрева от тепла конденсата пара, от турбоагре-

гатов и пара, от паровых котлов. Далее теплоноситель попадает на вторую ступень повышения давления до 1,3 МПа, представленную 10 насосными агрегатами, и затем поступает в водогрейные котлоагрегаты. Кроме того, сетевой контур имеет перепады геометрических высот до 20 м и измерение диаметров трубопроводов от 1,4 до 0,259 м. Далее весь теплоноситель сетевого контура собирается в прямом коллекторе и затем распределяется между промышленными потребителями с требуемыми параметрами (расход, давление, температура). Одним из потребителей является жилой фонд.

При моделировании переходных процессов в магистральных трубопроводах необходимо описать процессы, протекающие в трубопроводах сетевого контура ТЭЦ. Данный расчет является достаточно громоздким и представляет собой матрицу с общим количеством уравнений (около двух тысяч). Данная система уравнений учитывает перепады геометрических высот, все виды местных и линейных сопротивлений трубопроводов. Общая протяженность трубопроводов ТЭЦ составляет несколько километров. Кроме того, количество уравнений матрицы будет постоянно

меняться при отключении любого из пяти турбогенераторов, а также при выводе из системы любого из сетевых насосов или устройств повышения температуры. Такой математический пакет в сочетании с математическим описанием статической и динамической составляющих переходных процессов в магистральных трубопроводах и математическим описанием переходных процессов в электрической части системы значительно затруднит моделирование в среде MATLAB.

Для получения желаемого результата при моделировании необходима методика упрощения системы уравнений сетевого контура ТЭЦ для последующего представления в среде MATLAB без потери точности расчета.

С учетом того, что сетевые насосы первой ступени питают СЭНы второй ступени, и на гидравлику пиковой котельной ТЭЦ и магистральных трубопроводов непосредственное влияние будут оказывать только насосы второй ступени, переменные в функции гидравлических параметров ТЭЦ будут отражать состояние насосов второй ступени:

$$Q_{ТЭЦ}, P_{ТЭЦ} = f(Q_1, P_1, \dots, Q_i, P_i, \dots, Q_{10}, P_{10}).$$

Анализ данных расчета параметров ТЭЦ показал, что затруднительно получить одну функцию расчета расхода и давления в системе. Это обусловлено тем, что для каждого технологического режима формируется своя схема, в которую могут добавляться/исключаться отдельные элементы – местные и линейные сопротивления. Для анализа технологических режимов работы ТЭЦ, которые зависят от работы конкретного сетевого насоса, общего количества, конкретного ПБ или ПСВ, использовались оперативные данные МТЭЦ-2 за период: 6.03.2005 8⁰⁰ – 31.08.2005 20⁰⁰. Из 326 возможных вариантов выбрано 11 схем работы сетевых трубопроводов станции.

Расчет расхода в системе выполнен по принципу баланса – количество воды,

пришедшее и ушедшее из системы, равно между собой. Объем воды определен технологией предприятий, потребляющих тепловую энергию; в свою очередь, отработанная вода от предприятия-потребителя возвращается в систему, т. е. потери расхода являются незначительными и в штатном режиме (отсутствие порыва) составляют до 0,01 т/ч. Давление воды также определяется технологией как предприятия, так и ТЭЦ.

Потребитель тепловой энергии задает параметры теплоносителя: давление, расход, температура. Здесь играет роль температура окружающей среды, так как она определяет параметры воды (температура, давление). В системе прослеживается закономерность: чем больше давление в системе, тем быстрее оборачиваемость жидкости в контуре – вода проходит цикл быстрее и не успевает «остыть». Кроме того, в пределах норм эксплуатации трубопроводов (диапазон давлений) при повышении давления температура воды может быть выше без образования паровой фазы.

Для дальнейших исследований приняты следующие допущения:

- количество воды, пришедшее и ушедшее в систему, равно между собой;
- при исследовании поведения давления и расхода системы используются только насосы, непосредственно формирующие давление в трубопроводе – насосы второй ступени;
- распределение воды между насосами зависит от собранной схемы.

При расчете характеристик гидравлической системы ТЭЦ-2 используются четыре основных варианта:

- 1) снижение скорости двигателя каждого из насосов второй ступени, пары насосов, всех насосов; анализ производительности, давления;
- 2) включение дополнительного двигателя для получения различных давлений при одинаковом (постоянном) расходе; изучение перераспределения жидкости между насосами различных

групп второй ступени;

3) изменение расхода жидкости на коллекторе;

4) изменение температуры наружного воздуха.

Для оценки зависимости выходного давления системы примем следующие положения:

– давления на каждом отводе прямого коллектора равны между собой;

– расход в искомом магистральном трубопроводе при моделировании будет получен как разность между общим расходом воды прямого коллектора и суммарным расходом остальных ответвлений от ТЭЦ-2, где данные по остальным магистралям берутся из суточного оперативного журнала.

Таким образом, появляется возможность упростить поиск функции и оценить зависимость таких параметров, как суммарный расход насосов второй группы, давление и расход на прямом коллекторе.

При расчете характеристик гидравлической системы ТЭЦ-2 используется два основных варианта:

1) изменение пришедшего к насосу объема воды (причины могут быть различными – перекрытие подводящего трубопровода, изменение в работе соответствующего насоса первой ступени);

2) изменение скорости вращения двигателя (режим регулирования частоты вращения).

При изменении объемов подходящей к насосу жидкости происходит соответствующее изменение давления. При этом изменение QH-параметров происходит путем перемещения вдоль естественной характеристики насоса. Данный вариант рассмотрен в отобранных схемах. Рассматриваются комбинации изменения расхода в соответствии со схемой включения ТЭЦ (работающих насосов), а также рассматривается вариант включения дополнительного насоса в каждой из групп насосов второй ступени. Изменение QH-параметров насосов при изменении расхода воды представлено на рис. 1.

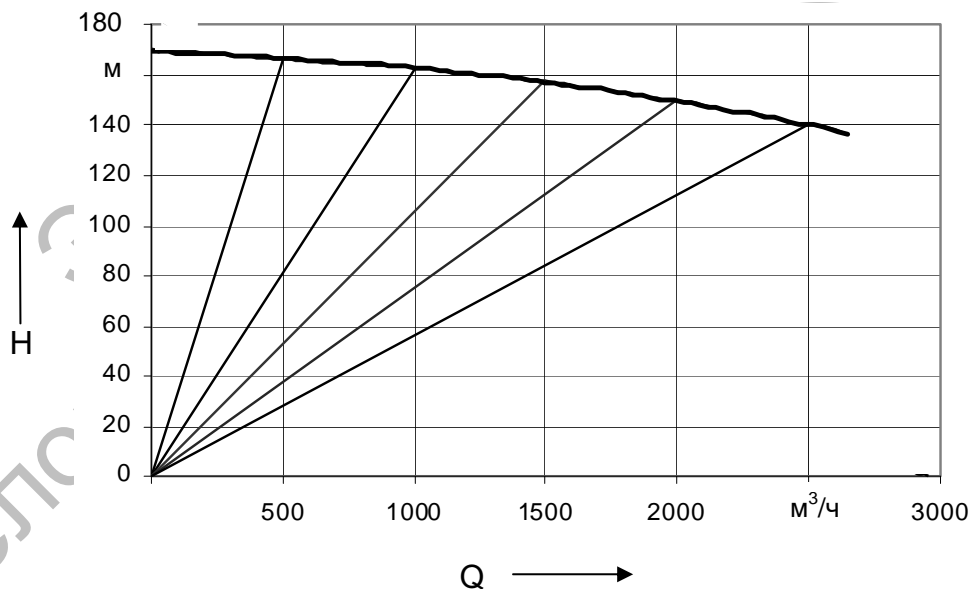


Рис. 1. Изменение QH-параметров насосов при изменении расхода воды

При регулировании частоты вращения расчет параметров каждого из работающих насосов подчиняется зависимости:

$$n_1/n_2 = Q_1/Q_2 = \sqrt{H_1/H_2}.$$

Для насосов второй группы семейство QH-характеристик при изменении скорости вращения представлено на рис. 2.

Для моделирования в среде MATLAB использование графического метода явля-

ется неудобным, хотя технически такое решение имеет место (параллельная работа одного частотного преобразователя на два СЭНа). Единственным возможным способом получения суммарной характеристики является расчет через гидравлическое сопротивление и, как следствие, через параметр a :

$$a = Q_i / \sqrt{p_i}.$$

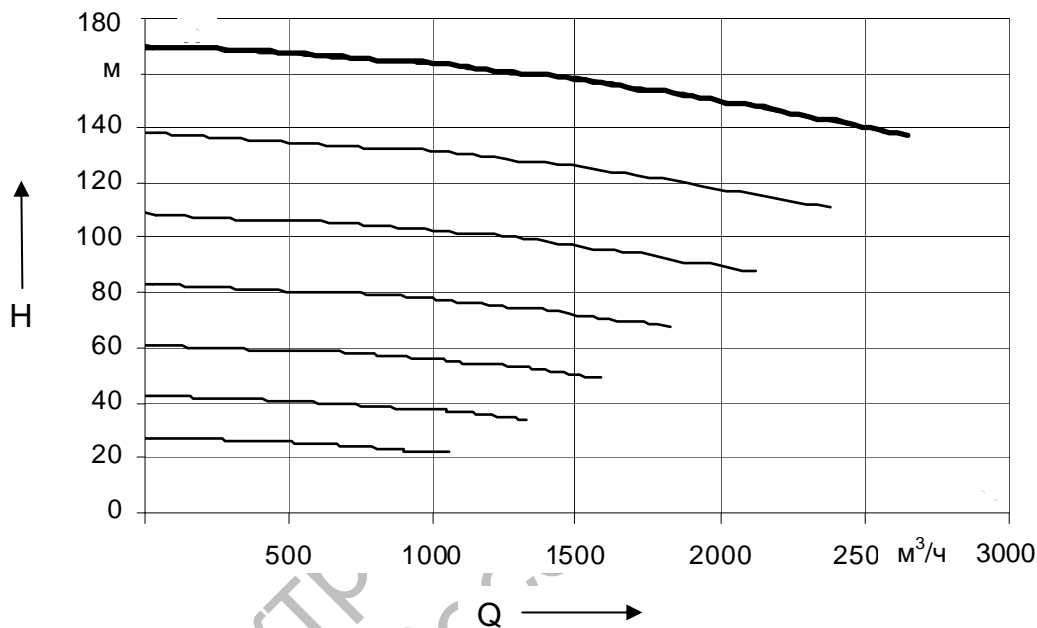


Рис. 2. Семейство QH-характеристик насосного агрегата СЭ–2500–140 при изменении скорости вращения насоса

Рассматриваются несколько вариантов получения параметров на выходе ТЭЦ–2:

$$P_{ВЫХ} = f(P_{1СН-2А}, \dots, P_{2СН-2Б}; P_{3СН-2А}, P_{3СН-2Б}; P_{4СН-2А}; P_{5СН-2А}, \dots, P_{5СН-2В}); \quad (1)$$

$$P_{ВЫХ} = f(K1 = Q_{СУМ} / Q_{ВЫХ}); \quad (2)$$

$$P_{ВЫХ} = f(K2 = P_{СР.КВ.} / P_{ВЫХ}); \quad (3)$$

$$P_{ВЫХ} = f(K3 = P_{ВЫХ} / Q_{ВЫХ}). \quad (4)$$

Зависимость (1) построена для всего массива 11-и отобранных схем.

Зависимости (2)–(4) исследовались в пределах каждой гидравлической схемы отдельно с выполнением графических построений для каждой схемы отдельно. Анализ показал, что в пределах отдельных схем нет возможности нахождения искомой зависимости.

Таким образом, оценка данных за-

висимостей показала невозможность подбора искомой функции. Для дальнейших исследований использовались следующие зависимости:

$$p_{\text{ВЫХ}} = f(a). \quad (5)$$

Оценка графического отображения данной зависимости показала возможность группировки нескольких массивов с данными из различных частей схемы, но не всей схемы. Однако при отсутствии лучшего варианта в сравнении с данным может быть рассмотрена возможность группировки массивов данных из различных схем, и получения таблицы зависимостей. Параметр a является достаточно объективным, т. к. учитывает суммарный расход воды, производимый насосами второй группы, и среднеквадратичное значение давления на выходе СЭНов.

$$p_{\text{ВЫХ}} = f(p_{\text{СР.КВ}}). \quad (6)$$

Оценка графического отображения данной зависимости показала возможность группировки всех массивов с данными из различных схем. Такая зависимость в меньшей степени отображает процессы гидравлической системы ТЭЦ-2 (в сравнении с a), но кривые имеют абсолютно одинаковый характер, что позволяет сделать предположение о возможности получения искомой функции.

Расход жидкости формируется как разность между суммарной производительностью насосных агрегатов второй ступени и расхода остальных (не исследуемых) магистралей.

$$Q_{\text{ВЫХ}} = Q_{\text{СУМ}} - Q_{\text{СОТП}},$$

где $Q_{\text{СОТП}}$ – суммарный расход остальных (не исследуемых) магистралей, м³/ч.

Используя математический пакет «статистика» для данного теплоисточника, получена функция

$$p_{\text{ВЫХ}} = f(p_{\text{СР.КВ}});$$

$$p_{\text{ВЫХ}} = 5429,49 + 0,96766 \cdot p_{\text{СР.КВ}},$$

где $p_{\text{СР.КВ}}$ – среднеквадратичное значение давления от работающих насосов, Па.

Графическое распределение кривых $p_{\text{ВЫХ}} = f(p_{\text{СР.КВ}})$ представлено на рис. 3.

Таким образом, методика получения упрощенного расчета выглядит следующим образом.

1. Выполняется расчет параметров отпуска теплоносителя ТЭЦ-2 (давление, расход) с учетом всех сопротивлений и геометрических перепадов по известным формулам:

– потери напора, возникшие при преодолении какого-либо местного сопротивления:

$$h_m = \lambda \frac{l_3 v^2}{d 2g};$$

– потери напора, возникшие при преодолении какого-либо линейного сопротивления:

$$h_n = \xi \frac{v^2}{2g};$$

– уравнение Бернулли:

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{\rho g} = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{\rho g} + \lambda \frac{l v^2}{d \rho g} + \sum \xi \frac{v^2}{\rho g}.$$

2. В соответствии с основными технологическими режимами работы оборудования (составом оборудования, алгоритмами работы) выполняется расчет выходных параметров ТЭЦ-2 (давление и расход теплоносителя в искомой магистрали). Параметры отпуска горячей воды остальных трубопроводов

$Q_{\Sigma OTI}$ берутся близкими к реальным. Выбираются варианты включения насосных агрегатов сетевого контура – выполняется математическое описание технологических схем ТЭЦ.

3. Для полученных сочетаний про-

считываются варианты включения дополнительного насосного агрегата, вывод из работы насосного агрегата конкретной схемы, снижение скорости одного, затем нескольких насосных агрегатов.

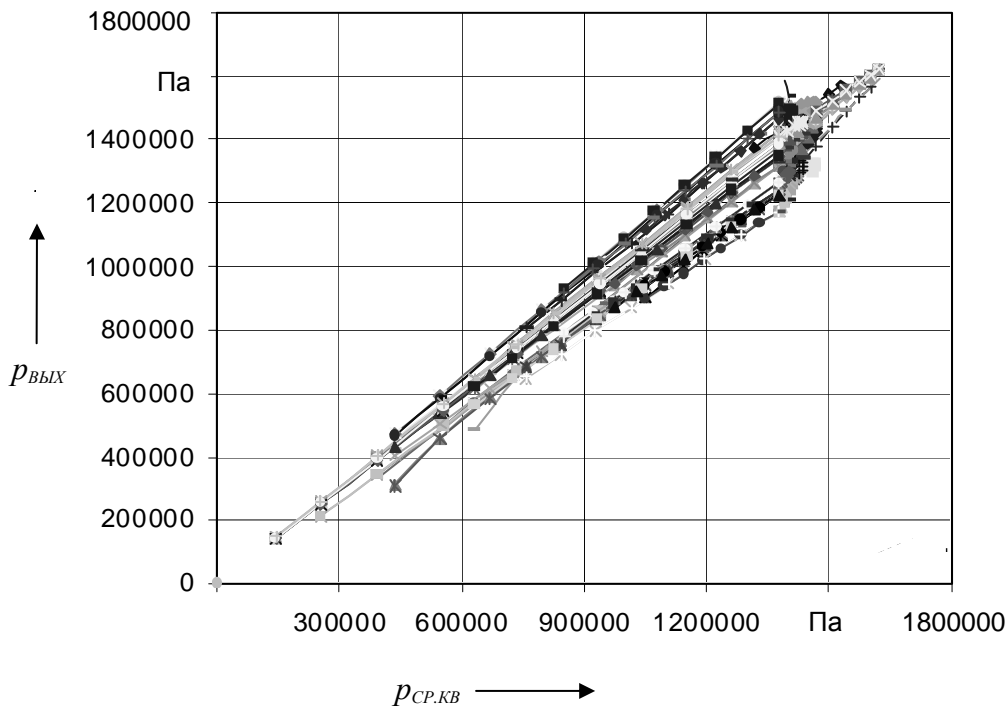


Рис. 3. Семейство функций $p_{\text{ВЫХ}} = f(p_{\text{СР.КВ}})$

4. Для каждой схемы выполняется расчет по системе уравнений:

$$\begin{cases} Q_{\text{СУМ}} = \sum Q_{\text{H/Ai}} ; \\ Q_{\text{ВЫХ}} = Q_{\text{СУМ}} - Q_{\text{ΣОТ}} ; \\ a_i = \frac{Q_{\text{H/Ai}}}{\sqrt{p_{\text{H/Ai}}}} ; \\ a_{\text{СУМ}} = \sum a_i ; \\ p_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{Q_{\text{СУМ}}}{a_{\text{СУМ}}} \right)^2 . \end{cases}$$

5. Для каждой схемы выполняется поиск зависимости $p_{\text{ВЫХ}} = f(p_{\text{СР.КВ}})$.

6. По окончании расчета выполняется проверочный расчет, подтверждающий точность расчета.

Для данного объекта модель в среде MATLAB представлена на рис. 4.

Здесь в качестве насосных агрегатов используются сетевые электронасосы СЭ1250/140, механическая характеристика которых представлена на рис. 1. Все насосные агрегаты второй ступени НА1–НА10 идентичны. QH-характеристика представлена функцией на рис. 4 (НА1). На вход сетевых насосов подается скорость электродвигателя сетевого насоса (wdНА1–wdНА10) соответственно.

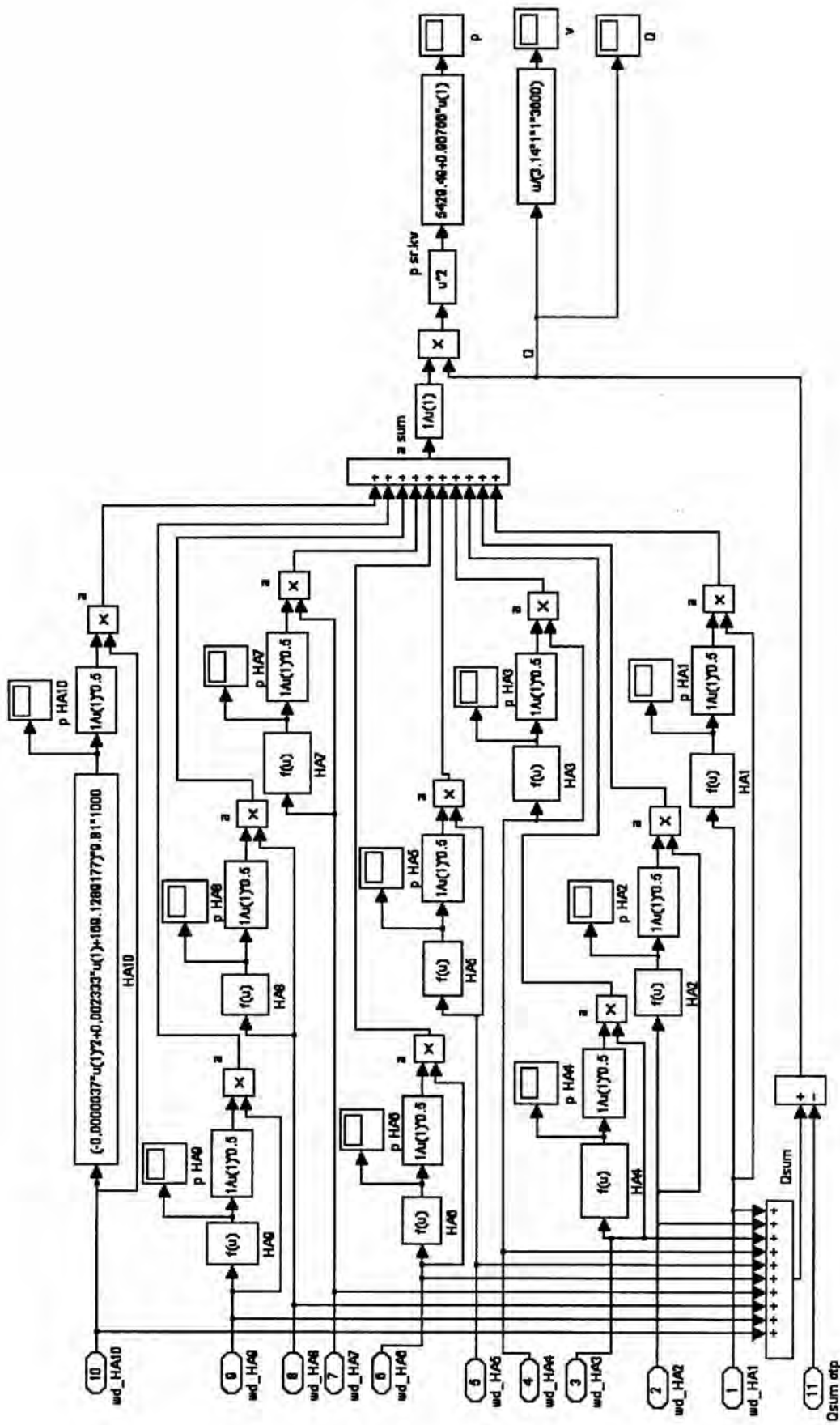


Рис. 4. Модель источника горячего водоснабжения в среде MATLAB

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автушенко, Н. А.** Тепловой расчет систем магистральных сетей горячего водоснабжения / Н. А. Автушенко, Г. С. Ленеvский // Вестн. МГТУ. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – № 2. – С. 9–17.

2. **Альтшуль, А. Д.** Гидравлика и аэродинамика : учебник для вузов / А. Д. Альтшуль, Л. Д. Животовский, Л. П. Иванов. – М. : Стройиздат, 1987. – 414 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 14.11.2006

G. S. Lenevsky, N. A. Avtushenko
Modelling of hot water supply of
waterway main pipelines in MATLAB
Belarusian-Russian University

In this scientific paper the technique of reception of mathematical models of hot water supply of waterway main pipelines in MATLAB is considered, the algorithm of simplification of a mathematical package is developed.

This algorithm allows to take into account influence of local and linear resistances, geometrical differences at hot water supply of waterway main pipelines, to simplify the process of modulation as the hot water supply behavior water as all system. Design procedure of a component of movement of water in systems of the main pipelines has universal character and can be used at calculation, building models, an estimation of stability of hydraulic systems of a heat supply and water supply with significant extent of pipelines.