

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.3

Н. А. Автушенко, Г. С. Леневский, канд. техн. наук, доц.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СРЕДЕ MATLAB

В статье рассмотрена математическая модель систем горячего водоснабжения в среде MATLAB.

Данная математическая модель может быть использована для расчета магистральных, кольцевых систем трубопроводов. Математическая модель учитывает как статическую, так и динамическую составляющие поведения жидкости в трубопроводах. Используемое для реализации математическое описание позволяет использовать математическую модель для исследования квазиустановившихся, переходных и нестационарных переходных процессов в трубопроводе. Немаловажным является факт наличия в модели источника горячего водоснабжения.

Введение

При построении систем управления переходными процессами в трубопроводах горячего водоснабжения встает острая необходимость в получении информации о поведении теплоносителя с учетом статических и динамических свойств системы.

В общем случае структурную схему системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов можно представить в следующем виде (рис. 1).

В качестве исследуемого объекта используется реальная схема «Могилевская ТЭЦ-2 – Павильон П2». Укрупненно схема имеет следующий вид (рис. 2).

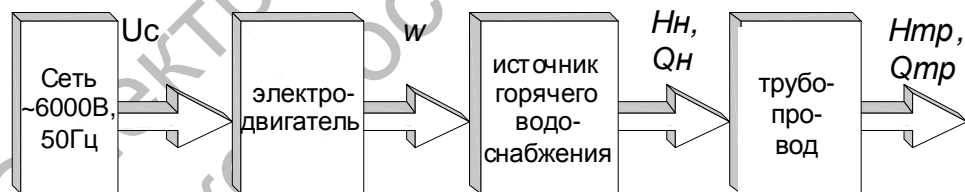


Рис. 1. Структурная схема системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов

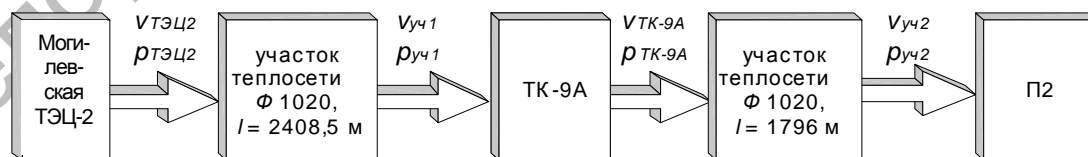


Рис. 2. Структурная схема системы «Могилевская ТЭЦ-2 – участок магистральной тепловой сети МТЭЦ-2 – П2»

Как видно из рис. 2, исследуемый участок магистральной сети имеет в своем составе промежуточный павильон ТК-9А, что затрудняет расчеты и, как следствие, построение модели.

Наиболее сложным в данной системе является построение модели участка трубопровода. Математическое описание динамической составляющей поведения теплоносителя в магистральных трубопроводах имеет следующей вид [1, 2]:

– кинематическая вязкость

$$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337 \cdot t + 0,0000221 \cdot t^2}, \quad (1)$$

где t – температура теплоносителя;
– модуль объемной упругости

$$B = \rho \frac{\partial p}{\partial \rho}, \quad (2)$$

где ρ – плотность теплоносителя.

Передаточная функция нестационарного касательного напряжения на стенке трубы $\tau(s)$ и средней по сечению потока скорости среды $v(s)$:

$$W_{\tau v}(s) = \frac{4\rho\nu}{r_0} \left(1 + 1,5 \frac{r_0^2}{\nu} s + 2 \frac{r_0^4}{\nu^2} s^2 \right), \quad (3)$$

где r_0 – радиус внутренней стенки трубопровода.

Приведенный модуль упругости теплоносителя

$$B_{TP} = \frac{B}{1 + \frac{2r_0 B}{\delta E_{CT}}}, \quad (4)$$

где E_{CT} – приведенный модуль стенки трубы; δ – толщина стенки трубопровода.

Операторный коэффициент распро-

странения возмущений:

$$g^2(s) = \frac{s}{B_{TP}} \left[\rho s + \frac{2W\tau v(s)}{r_0} \right]. \quad (5)$$

Динамическая составляющая давления теплоносителя в магистральном трубопроводе

$$p(s, x) = \frac{p(s, 0)}{2} \left(e^{g^2(s)x} + e^{-g^2(s)x} \right) - \frac{g^2(s) B_{TP} v(s, 0)}{2s} \left(e^{g^2(s)x} - e^{-g^2(s)x} \right). \quad (6)$$

Динамическая составляющая скорости движения теплоносителя в магистральном трубопроводе

$$v(s, x) = \frac{v(s, 0)}{2} \left(e^{g^2(s)x} + e^{-g^2(s)x} \right) - \frac{s \cdot p(s, 0)}{2 \cdot B_{TP} \cdot g^2(s)} \left(e^{g^2(s)x} - e^{-g^2(s)x} \right) \quad (7)$$

Причем следует учесть, что функции (6) и (7) являются функциями двух переменных.

Полученная расчетным путем функция зависимости плотности теплоносителя от давления и температуры теплоносителя выглядит следующим образом:

$$\rho = 1010,1 + 4,73 \cdot p - 0,54 \cdot t - 0,18 \cdot p^2 - 0,0067 \cdot t \cdot p - 0,0015 \cdot t^2. \quad (8)$$

Для формирования математической модели необходимо получить модуль объемной упругости, точнее его второй множитель:

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{-0,5\pi}{\sqrt{-(4,73 - 0,0067 \cdot t)^2 - 4 \cdot 0,18 \cdot (1010,1 - 0,54 \cdot t - 0,0015 \cdot t^2 - \rho)}}$$

Математическая модель динамической составляющей движения жидкости в трубопроводе в среде MATLAB представлена на рис. 3.

Данная модель выполнена для первого участка (МТЭЦ–2 – ТК–9А), для второго участка модель выглядит аналогично. При построении математической модели в MATLAB использованы стандартные блоки SIMULINK, Power System Blockset.

Математическое описание статической составляющей движения жидкости в магистральном трубопроводе [3] основано на классических уравнениях гидравлики: уравнение Бернулли и формула Дарси-Вейсбаха (расчет местных и линейных сопротивлений). Она характеризует местные потери напора: потери при изменении сечения, расширения и сужения потока; потери при изменении направления потока

его поворотом; потери, связанные с протеканием жидкости через арматуру; потери при отделении одной части потока от другой или слияния двух потоков в один общий; влияние сварных стыков и сильфонных компенсаторов.

Исследуемый участок для точности расчета делится на девять участков в соответствии с количеством неподвижных опор. Количество неподвижных опор участка магистральной теплосети определено строительным проектом. Для упрощения процесса моделирования рассчитываются функции типа $p = f(p_{ВХ}, l)$ для каждого участка. Обычно это линейные уравнения или функции второго порядка [4].

Для участка магистральной теплосети (МТЭЦ–2 – ТК–9А) функции описаны в табл. 1.

Табл. 1

| Участок магистрали, м | Функция давления в конце участка | Коэффициент κ_i |
|-----------------------|--|---|
| 0 ÷ 125,5 | $p_{125} = \kappa_1 \cdot l + p_{ВХ}$ | $\kappa_1 = -0,0003 \cdot p_{ВХ} + 936$ |
| 125,5 ÷ 338,5 | $p_{338,5} = \kappa_2 \cdot l + p_{125,5}$ | $\kappa_2 = -5 \cdot 10^{-9} \cdot p_{125,5}^2 + 0,0008 \cdot p_{125,5} - 399,15$ |
| 338,5 ÷ 919,5 | $p_{919,5} = \kappa_3 \cdot l + p_{338,5}$ | $\kappa_3 = -1 \cdot 10^{-9} \cdot p_{338,5}^2 + 0,0017 \cdot p_{338,5} - 767,13$ |
| 919, ÷ 1766 | $p_{1766} = \kappa_4 \cdot l + p_{919,5}$ | $\kappa_4 = -0,0003 \cdot p_{919,5} + 213,57$ |
| 1766 ÷ 1827 | $p_{1827} = \kappa_5 \cdot l + p_{1766}$ | $\kappa_5 = -0,0002 \cdot p_{919,5} + 372,82$ |
| 1827 ÷ 2367 | $p_{2367} = \kappa_6 \cdot l + p_{1827}$ | $\kappa_6 = -0,0002 \cdot p_{1827} + 210,02$ |
| 2367 ÷ 2400 | $p_{2400} = (\kappa_7 \cdot l + p_{2367}) \cdot 0,9$ | $\kappa_7 = -4 \cdot 10^{-10} \cdot p_{2367}^2 + 0,0005 \cdot p_{2367} + 124,16$ |

Математическая модель статической составляющей поведения теплоносителя участка магистральной теплосети МТЭЦ–2 – ТК–9А представлена на рис. 4.

При моделировании расчет значений давления и скорости течения жидкости производится в любой точке исследуемого участка трубопровода, поэтому в модели определение участка трубопровода, в котором находится искомая точка, производится автоматически.

Для получения значения давления в искомой точке, которая находится между двумя соседними опорами, необходимо принимать значение давления в начале ис-

следуемого участка за начальное. Расчет длины на данном участке начинается также с нуля. Для этого производится вычитание от заданной длины суммарной длины всех предыдущих участков между неподвижными опорами. На рис. 4 данный расчет реализован посредством блоков Fcn17–Fcn 22. Данные блоки являются стандартными блоками SIMULINK. Если искомая точка найдена – процесс расчета прекращается, если нет – данные предаются для расчета в последующих участках. Такой алгоритм реализован с помощью блоков Uchastok1–Uchastok7. В качестве примера представлен Uchastok2 (рис. 5).

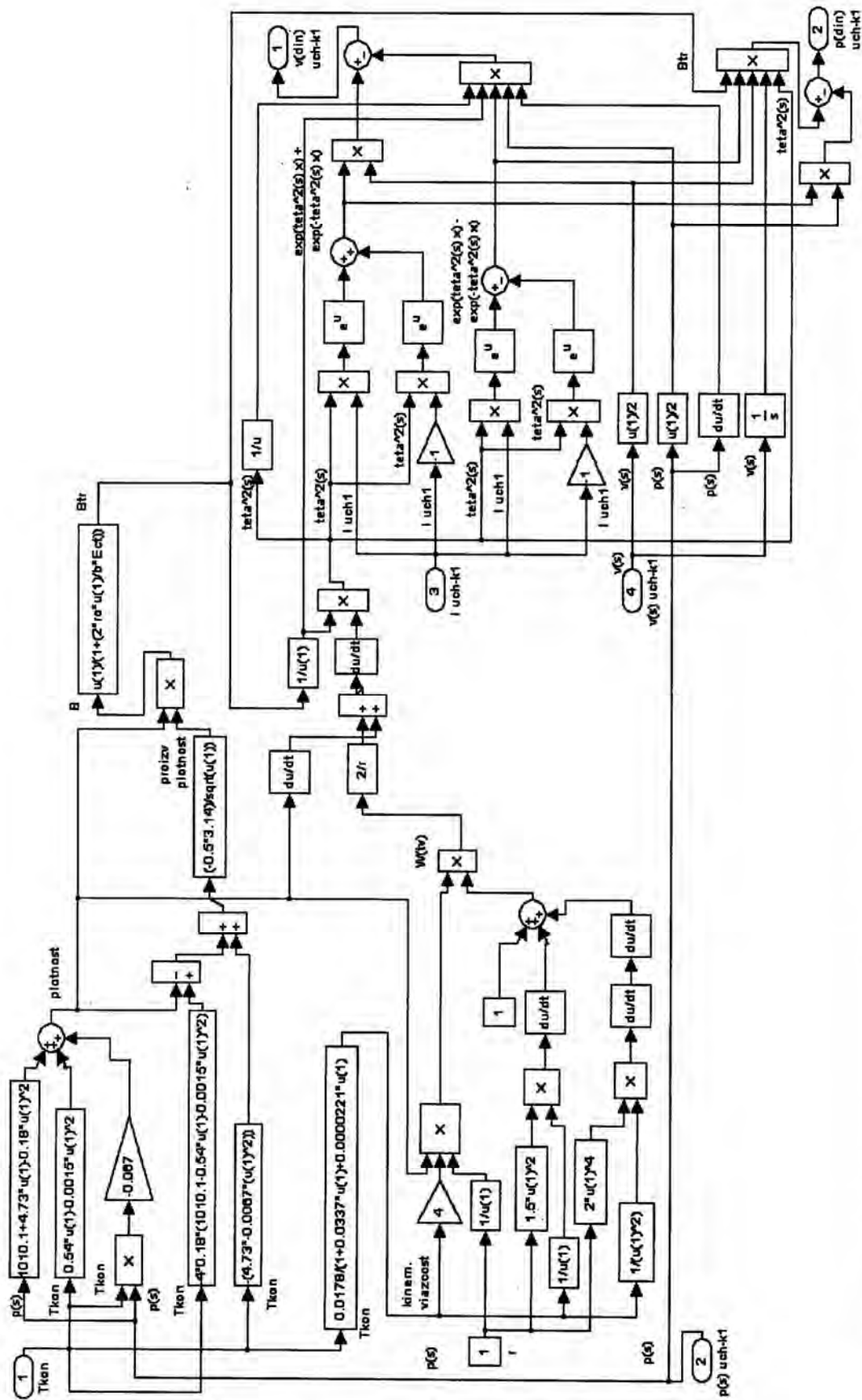


Рис. 3. Математическая модель динамической составляющей движения жидкости в трубопроводе в среде MATLAB

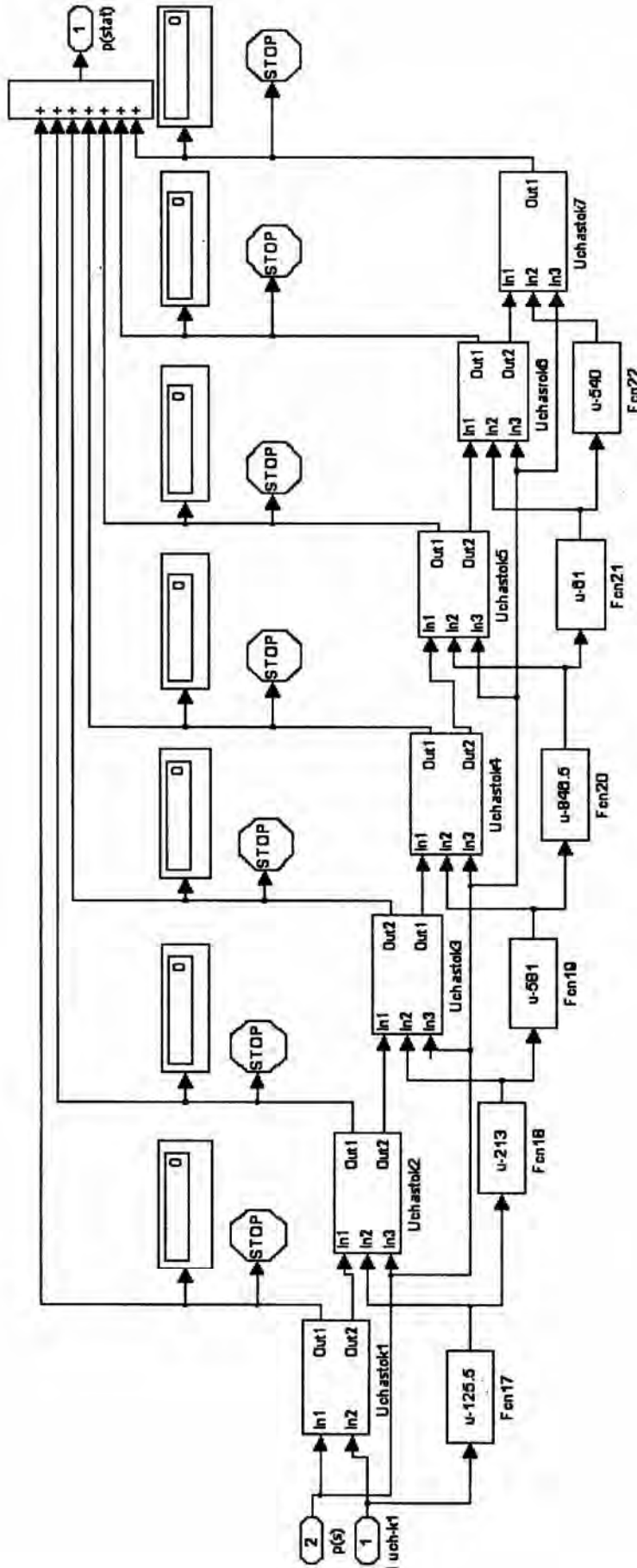


Рис. 4. Математическая модель статической составляющей поведения воды участка теплосети МТЭЦ-2 – ТК-9А в MATLAB

Бел

ерситета

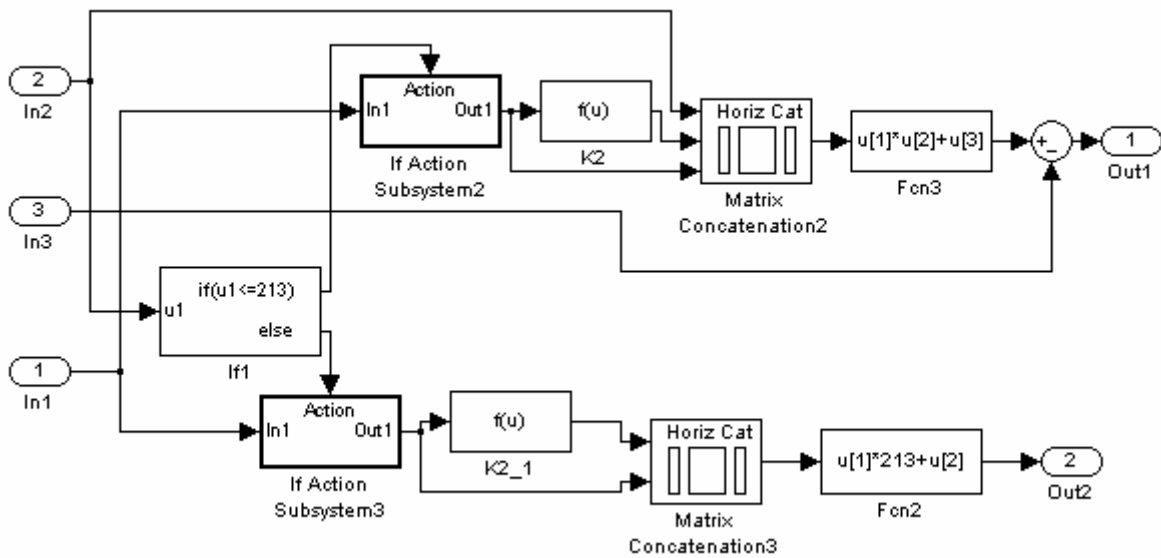


Рис. 5. Математическая модель участка теплосети МТЭЦ-2 – ТК-9А (Uchastok2)

Алгоритм расчета реализован с помощью условия «if» – стандартного блока MATLAB SIMULINK. В качестве условия, как уже отмечалось ранее, является протяженность данного участка, в данном случае 213 м.

Расчет статической составляющей на втором участке ТК-9А – П2 выглядит аналогично.

При получении математической модели данной системы есть промежуточный объект – павильон ТК-9А, который в реальности представляет собой коллектор. В павильон приходят и выходят несколько трубопроводов, в том числе и исследуемый трубопровод. Математическая модель павильона ТК-9А представлена на рис. 6.

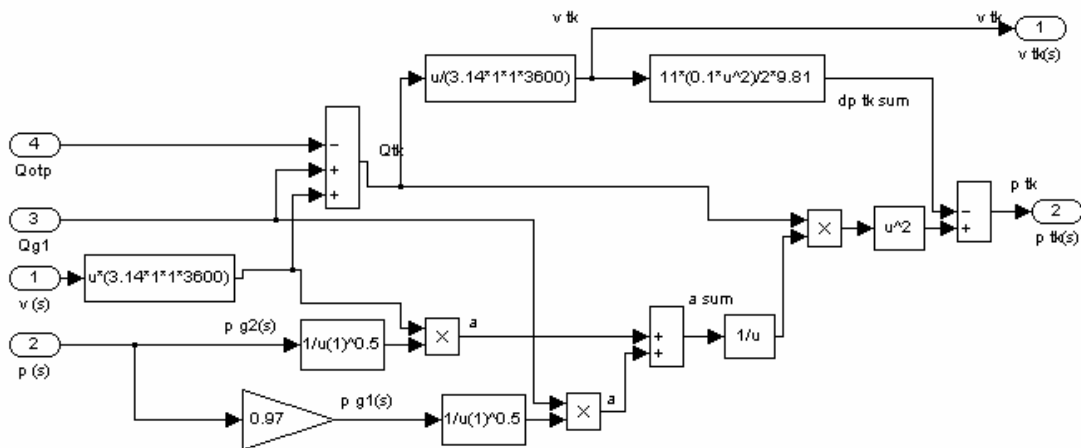


Рис. 6. Математическая модель павильона ТК-9А в среде MATLAB

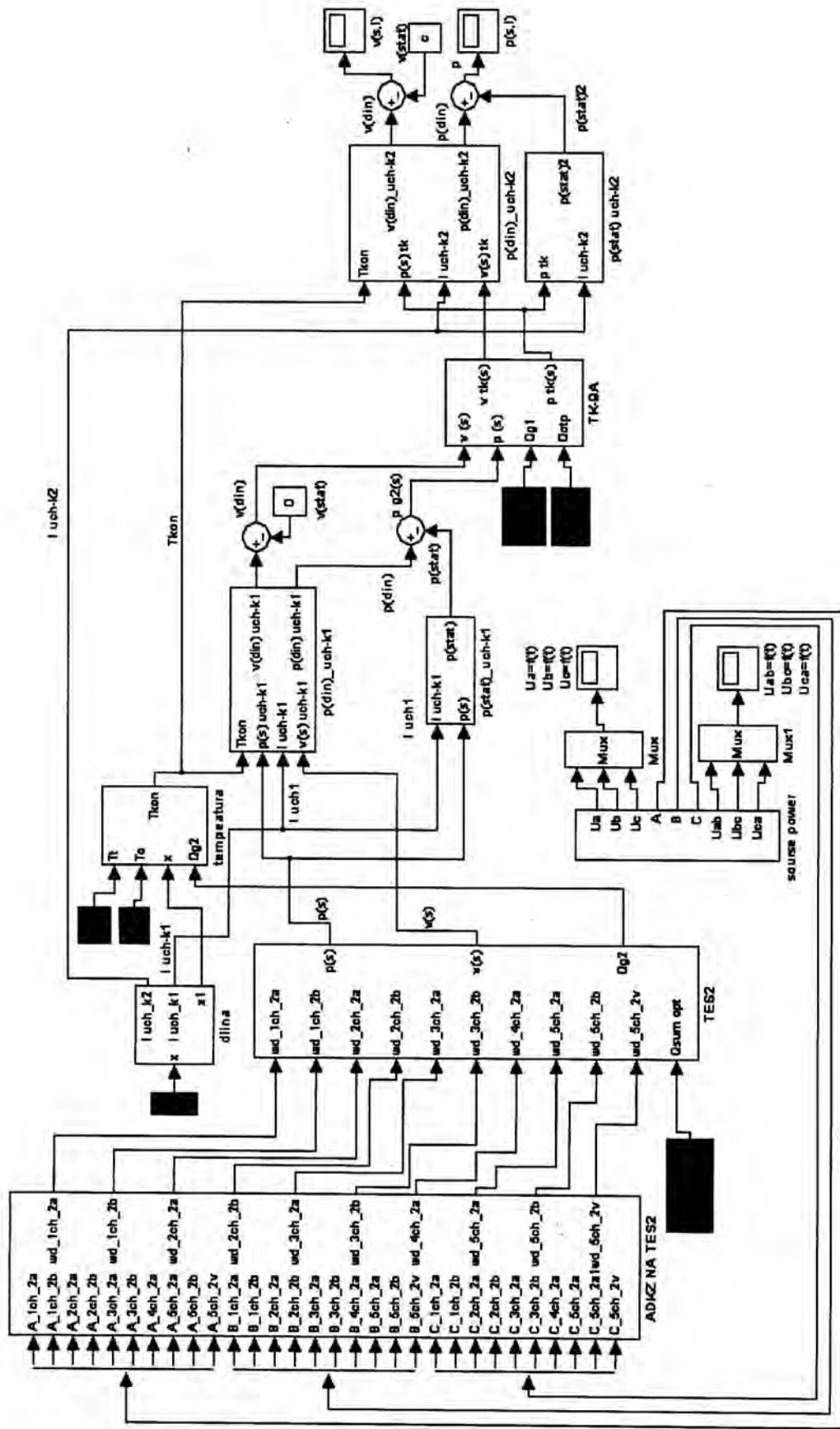


Рис. 7. Математическая модель электромеханической системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов с распределенными параметрами МТЭЦ-2 – П2 в среде MATLAB

Блок реализован на основе стандартных блоков SIMULINK.

Все вышеперечисленные блоки объединяются в единую математическую модель электромеханической системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов с распределенными параметрами МТЭЦ-2 – П2 в среде MATLAB, представленную на рис. 7.

Блок «Source power» представляет источник напряжения 6000 В, 50 Гц. Блок реализован на основе трех стандартных блоков AC Voltage Source библиотеки SIMULINK/Power System Blockset/ Electrical Sources. Блок «ADKZ NA TES2» представляет собой свод электродвигателей (асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором) сетевых насосных агрегатов, реализованных посредством блока Asynchronous Machine библиотеки SIMULINK Power System Blockset. Блок «TES» представляет собой математическую модель источника горячего водоснабжения. Блок «dlina» выполняет пересчет длины с целью определения необходимости дальнейшего расчета участка ТК-9А – П2.

На примере участка трубопроводов Могилевской ТЭЦ-2 – П2 протяженностью 4204,5 м рассмотрен процесс по-

строения математической модели электромеханической системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов с распределенными параметрами МТЭЦ-2 – П2 в среде MATLAB.

Полученная математическая модель является базовой для расчета систем горячего водоснабжения. Математическая модель учитывает все составляющие поведения жидкости в трубопроводах и может быть использована для исследования различного рода переходных процессов в трубопроводе, построения САУ тепловых сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автушенко, Н. А.** Тепловой расчет систем магистральных сетей горячего водоснабжения / Н. А. Автушенко, Г. С. Ленеvский. // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2 (11). – С. 7–18.
2. **Автушенко, Н. А.** Математическое описание движения жидкости в трубопроводе с учетом распределенности параметров / Н. А. Автушенко, Г. С. Ленеvский // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2 (11). – С. 19–27.
3. **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

N. A. Avtushenko, G. S. Lenevsky
Construction of mathematical model
of system of hot water supply of the 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.