/Е.А Жидко, Л.Г. Попова; Воронежский ГАСУ-Воронеж, 2013.-175 с.

3. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Методологические основы обеспечения информационной безопасности инновационных объектов/ Е.А. Жидко, Л.Г. Попова //Информация и безопасность: регион.научно-технический журнал. Воронеж, 2012. –Вып. 3 (тематический выпуск) –Т.15.-Ч.3.- С. 369-376.

4. Г. Корн, Т. Корн Справочник по математике для научных работников и инженеров (Определения, теоремы, формулы) перевод с англ. Под ред. И.Г. Арамановича: М. 1970.-720 с.

5. Сазонова С.А. Особенности формирования математической модели потока распределения для системы теплоснабжения /С.А. Сазонова// Научный вестник ВГАСУ «Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах». Воронеж, 2013.-Вып.1. С.73-75.

6. Шатихин Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем. – М.: Физматгиз,1960.

УДК 681.3:519.6

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра «Прикладной информатики и информационных систем»
Канд. техн. наук, доцент Д.В. Сысоев
Россия, г.Воронеж, тел.: 8-903-651-09-26
E-mail: Sysoevd@yandex.ru

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, chair "Applied informatics and information systems"
Ph. D. in Engineering, associate professor D.V. Sysoev
Russia, Voronezh, ph.: 8-903-651-09-26
E-mail: Sysoevd@yandex.ru

Д.В. Сысоев

ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВ ДОСТИЖИМОСТИ В СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Описываются основанные на использовании сетей Петри методы построения пространств достижимости, которые могут быть использованы в структурных исследованиях систем различного предметного назначения.

Ключевые слова: структура, теория графов, сети Петри, достижимость.

D.V. Sysoev

CREATION OF SPACES OF APPROACHIBILITY IN STRUCTURAL RESEARCHES IT IS PRODUCTION – ECONOMIC SYSTEMS

Methods of creation of spaces of approachibility which can be used in structural researches of systems of various subject appointment are described based on use of networks of Petri.

Keywords: structure, theory of counts, Petri's networks, approachibility.

Свойства производственно - экономических систем (ПЭС) различного предметного назначения в значительной степени определяются составом и взаимоотношениями их элементов. Учет взаимоотношений позволяет выделять ядра конфликта, содружества и безразличия [1], и использовать их для исследования систем [1-5]. Одним из подходов, используемых в структурных исследованиях, является исследование множеств достижимости в графах системы, позволяющие определить области влияния одних элементов системы на другие. Однако традиционные методы теории графов [6] не позволяют получить корректное описание этих множеств, поскольку не учитывают динамику системы.

Ниже описывается подход к описанию множеств достижимости, основанный на использовании методов теории сетей Петри [7], аппарат маркировки которых обеспечивает учет динамики исследуемых ПЭС.

Структурная формализация систем. С точки зрения структурной организации систему формально можно представить тройкой [1,2]

$$\Psi = \{\Upsilon,\ \Omega,\ A\},$$

где $\Upsilon = \{\Upsilon_i, i = 1 \dots N\}$ - множество элементов (подсистем) системы Ψ; $\Omega = (\Upsilon, \mathcal{F})$ - ориентированный граф с множеством вершин Υ и множеством дуг $\mathcal{F} \subset \Upsilon \times \Upsilon$ (дуга $f_{ij} \in E$ отражает наличие связи элемента Υ_i с элементом Υ_j); $A =< L, R >$ – алгебра с множеством носителей L и сигнатурой R [8], описывающая механизм функционирования элементов системы Ψ.

С точки зрения функциональной организации систему можно описать множеством глобальных состояний

$$W = \{W^\omega, \omega = 1 \dots \eta\}.$$

При этом в рамках данного исследования примем, что каждое глобальное состояние системы Ψ – это вектор локальных состояний отдельных элементов системы:

$$W^\omega = (w_i^\omega, i = 1 \dots N).$$

С точки зрения информационной организации систему Ψ можно представить как

$$\Psi \subset X \times W \times Y,$$

где $X = \{x^\varphi, \varphi = 1 \dots \Phi\}$ – множество входных параметров системы, $Y = \{y^\tau, \tau = 1 \dots T\}$ – множество выходных параметров системы.

Функциональная и информационная организация отдельных элементов в целом повторяет функциональную и информационную структуру ПЭС в целом: каждый элемент системы может быть представлен как

$$\Upsilon_i \subset X_i \times W_i \times Y_i,$$

где $X_i = \{x_i^k,\ k = 1 \dots \varphi_i\}$ - множество входных параметров элемента Υ_i, $Y_i = \{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\}$ – множество выходных параметров элемента Υ_i, $W_i = \{w_i^\omega,\ \omega = 1 \dots \eta_i\}$ – множество локальных состояний элемента Υ_i.

В таком случае, носитель L и сигнатура R алгебры A представляется в виде

$$L = \times_i\ (X_i \times W_i \times Y_i), \qquad R = \times_i\ R_i,$$

где $R_i: X_i \times W_i \rightarrow Y_i$ – функция, которая называется глобальной реакцией элемента Υ_i [9], $\times_z$ – символ декартова произведения для всех значений параметра z.

Осуществим аналогичную формализацию для каждого элемента Υ_i так же как и в [10], представив его структуру в виде ориентированного графа

$$G_i = (V_i, E_i).$$

Граф $G_i \forall\ i = 1 \dots N$ имеет множество вершин $V_i = \{x_i^k, k = 1 \dots \varphi_i\} \cup \{w_i^\omega, \omega = 1 \dots \eta_i\} \cup \{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\}$ и множество дуг E_i, где $\{x_i^k,\ k = 1 \dots \varphi_i\} \neq \emptyset$, $\{w_i^\omega, \omega = 1 \dots \eta_i\} \neq \emptyset$, $\{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\} \neq \emptyset$ – множества входов, состояний и выходов элемента Υ_i.

Следует заметить, что при такой структуризации в графе G_i отсутствуют взаимосвязи внутри множеств $\{x_i^k, k = 1 \dots \varphi_i\}$, $\{w_i^\omega, \omega = 1 \dots \eta_i\}$, $\{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\}$, а также смежные вершины из множеств $\{x_i^k, k = 1 \dots \varphi_i\}$ и $\{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\}$. Вершины $\{y_i^\delta, \delta = 1 \dots \tau_i\}$ достижимы из вершин $\{x_i^k, k = 1 \dots \varphi_i\}$ только через вершины множества состояний $\{w_i^\omega, \omega = 1 \dots \eta_i\}$. При этом нахождение элемента в различных состояниях в общем случае инициализирует различный состав входных и выходных вершин.

Графы G_i в полной мере отражают представление о взаимосвязях входов и выходов в отдельных элементах системы Ψ.

Целостность системы Ψ определяется тем, что выходы одних элементов совпадают с входами других элементов. Это может быть описано специальными графами $G_i^\delta = (V_i^\delta, E_i^\delta)$, которые строятся следующим образом:

- ✓ графы G_i^δ строятся для каждого выхода y_i^δ каждого элемента Υ_i системы Ψ, который тождественен хотя бы одному входу какого либо элемента этой системы;
- ✓ множество вершин V_i^δ графа G_i^δ составляют указанный выход y_i^δ и тождественные ему входы, а также еще одна вершина

 ISSN 2307-177X

π_i^δ, которую будем называть проектором выхода y_i^δ;

✓ дуги E_i^δ графа G_i^δ направлены от вершины y_i^δ к проектору π_i^δ, а от него ко всем вершинам $V_i^\delta \backslash y_i^\delta$, т. е. входам, которым тождественна вершина y_i^δ.

Графы G_i^δ в полной мере отражают представление о взаимосвязях выходов и входов различных элементов системы Ψ.

Вышеизложенное, позволяет, наряду с графом системы $\Omega = (\Upsilon, \mathcal{F})$, отображающим укрупненную структуру взаимоотношений элементов ПЭС, рассматривать развернутый граф $G = (V, E)$ с вершинами $V = \{\cup_{(i,k)} x_i^k\} \cup \{\cup_{(i,\omega)} w_i^\omega\} \cup \{\cup_{(i,\delta)} y_i^\delta\} \cup \{\cup_{(i,\delta)} \pi_i^\delta\}$ и дугами $E = \{\cup_i f_i\} \cup \{\cup_{(i,\delta)} e_i^\delta\}$, позволяющими описывать взаимоотношение элементов системы Ψ на уровне структурно – параметрического представления множеств входов и выходов.

Важной частью исследований взаимоотношений в ПЭС является исследование достижимости в графе G. Использование традиционного определения достижимости в рассматриваемой случае не корректно. Действительно, в каждый момент времени система находится в одном состоянии и, следовательно, инициализированы в графе G только те вершины w_i^ω, которые соответствуют этому состоянию и, следовательно, следует рассматривать только те маршруты достижимости, которые содержат указанные вершины.

Ниже вводится новое понятие достижимости в графах и осуществляется исследование его свойств.

Понятие ϑ-достижимости. Обозначим ϑ – некоторое подмножество вершин графа $\Omega: \vartheta \subset V$. Введем ряд определений.

Определение 1. Вершина $\omega_j \in V$ ϑ–достижима из вершины $\omega_i \in V$ будем обозначать через $\omega_i \vec{d}_\vartheta \omega_j$ или $(\omega_i, \omega_j) \in \vec{d}_\vartheta$, если в графе $G = (V, E)$ существует ориентированный путь из ω_i в ω_j, не содержащий вершин из множества ϑ.

Множеством ϑ – достижимости $D_\vartheta(\omega_i)$ вершины ω_i называется множество ϑ – достижимых из нее вершин: $D_\vartheta(\omega_i) = \{\omega_j : \omega_i \vec{d}_\vartheta \omega_j\}$.

Множеством ϑ –достижимости $D_\vartheta(V_i)$ множества вершин V_i называется объединение множеств ϑ – достижимости всех вершин, входящих в $V_i: D_\vartheta(V_i) = \cup_k \{D_\vartheta(\omega_k): \omega_k \in V_i\}$.

Определение 2. Вершина $\omega_j \in V$ ϑ – контрдостижима из вершины $\omega_i \in V$ будем обозначать через $\omega_i \overleftarrow{d}_\vartheta \omega_j$ или $(\omega_i, \omega_j) \in \overleftarrow{d}_\vartheta$, если в графе $G^\Upsilon = (V^\Upsilon, E^\Upsilon)$ существует ориентированный путь из ω_j в ω_i, не содержащий вершин из множества ϑ.

Множеством ϑ – контрдостижимости $K_\vartheta(\omega_i)$ вершины ω_i называется множество ϑ – контрдостижимых из нее вершин: $K_\vartheta(\omega_i) = \{\omega_j : \omega_i \overleftarrow{d}_\vartheta \omega_j\}$.

Множеством ϑ – контрдостижимости $K_\vartheta(V_i)$ множества вершин V_i называется объединение множеств ϑ – контрдостижимости всех вершин, входящих в $V_i: K_\vartheta(V_i) = \cup_k \{K_\vartheta(\omega_k): \omega_k \in V_i\}$.

Определение 3. Вершина $\omega_j \in V$ ϑ – взаимодостижима из вершины $\omega_i \in V$ будем обозначать через $\omega_i \overleftrightarrow{d}_\vartheta \omega_j$ или $(\omega_i, \omega_j) \in \overleftrightarrow{d}_\vartheta$, если она одновременно ϑ – достижима и ϑ – контрдостижима из этой вершины.

Множеством ϑ – взаимодостижимости $V_\vartheta(\omega_i)$ вершины ω_i называется множество ϑ – взаимодостижимых из нее вершин: $V(\omega_i) = \{\omega_j : \omega_i \overleftrightarrow{d}_\vartheta \omega_j\}$.

Множеством ϑ – взаимодостижимости $V_\vartheta(\omega_i)$ множества вершин V_i называется пересечение множеств ϑ – взаимодостижимости всех вершин, входящих в $V_i: V_\vartheta(V_i) = \cap_k \{V_\vartheta(\omega_k): \omega_k \in V_i\}$.

Определения ϑ – достижимости, ϑ – контрдостижимости и ϑ – взаимодостижимости совпадают с обычными определениями достижимости, контрдостижимости и взаимодостижимости [4] в случае, если $\vartheta = \emptyset$.

Пространства ϑ^ω - достижимости в системе Ψ. Исследуем алгебраическую структуру множеств ϑ – достижимости, ϑ – контрдостижимости и ϑ – взаимодостижимости. С этой целью по аналогии с [5, 11] построим последовательность множеств:

- ✓ $\mathrm{M}^{d0} = \{D_\vartheta(\omega_i^\Upsilon), i = 1 \dots N\}$ – множество областей ϑ – достижимости всех элементов системы;
- ✓ $\mathrm{M}^{d1} \subset M^{d0}$ – объединение наименьшего покрытия M^{d0} и $\emptyset$;
- ✓ $\mathrm{M}^{d2} \supset M^{d1}$ – множество всех пересечений и дополнений элементов M^{d1} между собой и со всеми пересечениями, а также пересечений между собой;
- ✓ $\mathrm{M}^{d3} \subset M^{d2}$ – наименьшее покрытие M^{d2} непересекающимися элементами;
- ✓ $\mathrm{M}^{d4} \supset M^{d3}$ – объединение $\emptyset$ и множества всех объединений M^{d3}.

Как известно, поле $G(2)$ – это множество, состоящее из двух элементов – 0 и 1, в котором определены две бинарные операции: «$+$» - сложение по $mod\, 2$, «$\times$» - умножение (в традиционном смысле).

Для произвольного графа G операция умножения на коэффициенты из поля $G(2)$ определяются следующим образом:

$$0 \cdot G = \emptyset, \quad 1 \cdot G = G.$$

Кольцевая сумма $\oplus$ произвольных графов G_1 и G_2 определяется как

$$G_1 \oplus G_2 = (G_1 \cup G_2) \setminus (G_1 \cap G_2) \text{ [12]}.$$

В описанных выше обозначениях верно следующее утверждение, доказательство которого аналогично доказательству теорем 1 и 2 в [5].

Теорема 1.

1) M^{d4} – векторное пространство по операции $\oplus$ над полем $G(2)$;
2) M^{d3} – базис пространства M^{d4}.
3) Любой ориентированный цикл графа G^Υ содержится только в одном элементе M^{d3}.

Нетрудно видеть, что утверждение, аналогичное теореме 1 верно и для множеств ϑ – контрдостижимости.

Взаимоотношения элементов и ϑ^ω – достижимость. Перейдем к исследованию взаимоотношений элементов системы Ψ в пространстве достижимости.

В каждый момент времени каждый элемент системы, а, следовательно, и ПЭС в целом, находится в одном фиксированном состоянии, которое будем называть активным. С течением времени отдельные элементы могут перейти в другие состояния. Далее рассматривается функционирование системы Υ в течение такого интервала времени, что смена активных состояний ни одного элемента не происходит.

Обозначим $W^\omega = (w_i^\omega, i = 1 \dots N)$ – текущее состояние системы; $\vartheta^\omega = W \setminus W^\omega \subset V$ – множество вершин графа G, соответствующих неактивным состояниям элементов системы Ψ.

Введем ряд определений.

Определение 4. Элемент Υ_j системы Ψ достижим в состоянии W^ω (W^ω – достижим) из элемента Υ_i, если $\Upsilon_j \subset D_{\vartheta_\omega}(X_i)$.

Определение 5. Элемент Υ_j системы Ψ контрдостижим в состоянии W^ω (W^ω – контрдостижим) из элемента Υ_i, если $\Upsilon_j \subset K_{\vartheta_\omega}(X_i)$.

Определение 6. Элемент Υ_j системы Ψ взаимодостижим в состоянии W^ω *(*W^ω – взаимодостижим) с элементом Υ_i, если $\Upsilon_j \subset V_{\vartheta_\omega}(X_i)$.

Динамические модели системы. Для построения пространства Υ^ω-достижимости достаточно разработать механизм построения отдельных элементов этого пространства, т. е. множеств достижимости отдельных элементов системы Ψ. Это может быть осуществлено с помощью методов теории сетей Петри [7].

Заметим, что граф G является двудольным – множество его вершин разбивается на два множества взаимно несмежных вершин:

$$V^1 = \{\cup_{(i,k)} x_i^k\} \cup \{\cup_{(i,\delta)} y_i^\delta\},$$

$$V^2 = \{\cup_{(i,\omega)} x_i^\omega\} \cup \{\cup_{(i,\delta)} \pi_i^\delta\}.$$

Учитывая это обстоятельство, граф G

может быть преобразован в сеть Петри

$$\boldsymbol{\xi} = (V^1, V^2, \boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\varsigma}),$$

где V^1 – множество позиций, V^2 – множество переходов, $\boldsymbol{\zeta}$ – расширенная функция входов, отображающая состояния и проекторы в их входы, а выходы - в соответствующие им состояния и проекторы, $\boldsymbol{\varsigma}$ – расширенная функция выходов, отображающая состояния и проекторы в их выходы, а входы - в использующие их состояния и проекторы.

Динамика ПЭС, т. е. процесс смены ее состояний в процессе функционирования, задается с помощью маркировок:

- ✓ выполнение перехода $w_i^\omega \in V^2$ означает инициализацию элемента Y_i в состоянии w_i^ω;
- ✓ выполнение перехода $\pi_i^\omega \in V^2$ означает инициализацию проектора π_i^ω;
- ✓ маркировка позиции (занесение фишки в позицию) - нахождение данного в результате функционирования элемента системы или проектора.

Однако непосредственно сеть Петри $\boldsymbol{\xi}$ использована быть не может. Для этого ее необходимо преобразовать в другую сеть – $\boldsymbol{\xi}_d$, которая обладает следующими свойствами:

- ✓ обеспечивает отбор только тех состояний, которые включены во множество W^ω;
- ✓ все переходы имеют в точности один вход: $\forall \omega_i \in V^2\ |\boldsymbol{\zeta}(\omega_i)| = 1$ (для проекторов это выполняется по определению).

Опишем локальную операцию преобразования сети Петри $\boldsymbol{\xi}$ для каждого перехода w_i^ω, соответствующего состоянию элемента системы. Данный переход вместе со смежными позициями может быть представлен в виде, изображенным на рис. 1.

Заменим переход w_i^ω новыми переходами $w_i^{\omega 1}, w_i^{\omega 2}, \ldots, w_i^{\omega K}$, где $K = |\boldsymbol{\zeta}(w_i^\omega)|$, так, чтобы выполнялись следующие условия:

- ✓ у каждого перехода $w_i^{\omega i}$ только одна входная позиция из множества $\boldsymbol{\zeta}(w_i^\omega)$;
- ✓ каждая позиция множества $\boldsymbol{\zeta}(w_i^\omega)$ только с одним из переходов $w_i^{\omega i}$;
- ✓ выходы всех переходов $w_i^{\omega i}$ совпадают с выходами перехода $w_i^\omega : \boldsymbol{\varsigma}(w_i^{\omega i}) = \boldsymbol{\varsigma}(w_i^\omega)$.

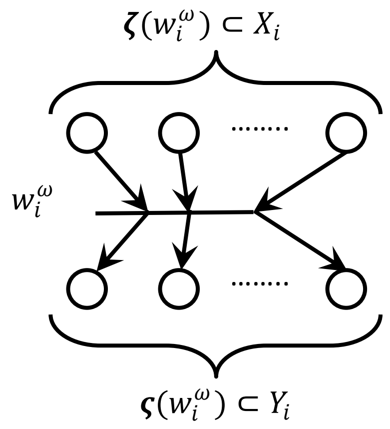

Рис. 1. Окрестность перехода сети Петри $\boldsymbol{\xi}$, ассоциированного с состоянием w_i^ω элемента системы Ψ

Кроме того, для каждого состояния w_i^ω каждого элемента Y_i введем дополнительную входную позицию - индикатор $x(w_i^\omega)$, которая будет входной для всех переходов $w_i^{\omega i}$.

Далее будем помечать те из позиций $x(w_i^\omega)$, соответствующие состояния для которых включены во множество W^ω.

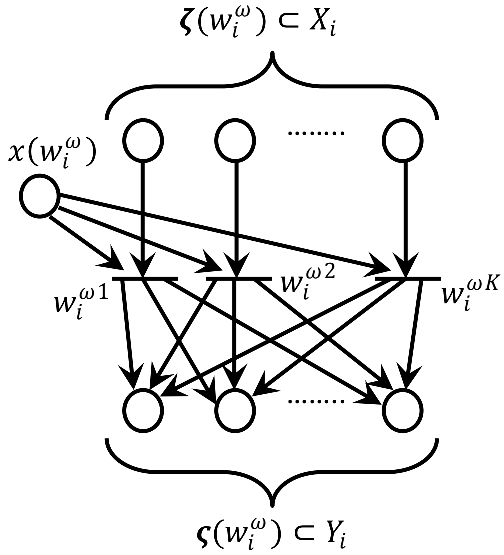

Рис. 2. Преобразованный вид окрестности перехода сети Петри $\boldsymbol{\xi}$, ассоциированного с состоянием w_i^ω элемента системы Ψ

Построение пространств ϑ^{ω} – достижимости, ϑ^{ω} - контрдостижимости, ϑ^{ω} - взаимодостижимости. Для построения пространств ϑ^{ω} – достижимости может быть использовано следующее утверждение.

Теорема 2. Если выполнить следующие действия:

1) пометить позиции $x(w_i^{\omega})$ для всех состояний из множества W^{ω};
2) пометить произвольную входную позицию того состояния элемента Υ_i, которое включено в множество W^{ω};
3) выполнить все активные переходы;

то те элементы системы Ψ**,** переходы состояний w_i^{ω} которых будут выполнены, ϑ^{ω} - достижимы из элемента Υ_i.

Доказательство непосредственно вытекает из описания сети Петри $\boldsymbol{\xi}_d$ и операций смены маркировок в сетях Петри.

Во-первых, условием выполнения перехода, соответствующего состоянию является попадание маркера в его входную позицию, что будет осуществляться в соответствии с определением проекторов.

Во-вторых, входные позиции $x(w_i^{\omega})$ тех состояний, которые не содержатся во множестве W^{ω} не могут быть маркированы.

Определение 7. Сеть Петри

$$\boldsymbol{\xi}^* = (V^1, V^2, \boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\varsigma}),$$

называется инверсная к сети Петри

$$\boldsymbol{\xi} = (V^1, V^2, \boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\varsigma}).$$

Фактически инверсная сеть отличается от исходной изменением направлений всех дуг на противоположные. Поэтому понятие ϑ^{ω} - достижимости в обычной сети эквивалентно понятию ϑ^{ω} - контрдостижимости в инверсной сети. В связи с этим действия, перечисленные в теореме 2 с инверсной сетью Петри $\boldsymbol{\xi}_d^*$ позволят построить множество ϑ^{ω} - контрдостижимости элемента Υ_i.

Пересечение множеств ϑ^{ω} - достижимости и ϑ^{ω} - контрдостижимости элемента Υ_i представляет собой множество ϑ^{ω} - взаимодостижимости этого элемента. Это множество всегда не пусто, т. к. содержит по крайней мере сам элемент Υ_i.

Библиографический список

1. Сысоев В.В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом взаимодействии. – М.: Московская академия экономики и права, 1999. – 151 с.
2. Сысоев В.В. Приведенные системы и условия возникновения частичного конфликта // Вестник ВГТА.- Воронеж: ВГТА, 2000. - № 5. - с. 27 - 35.
3. Сысоев В.В. Структурные и алгоритмические модели автоматизированного проектирования производства изделий электронной техники. – Воронеж: Воронежский технологический институт, 1993. – 207 с.
4. Сысоев В.В. Взаимные системные отношения в структурно-параметрическом представлении. // Кибернетика и технологии XXI века. Доклады международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2000, с. 134 - 144.
5. Сысоев В.В. Исследование конфликтных взаимодействий в процессе синтеза управляющих воздействий / В.В. Сысоев, В.В. Меньших // Кибернетика и технологии XXI века. Доклады международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2000, с. 145-151.
6. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. - 432 с.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
8. Сысоев Д.В. Модель поиска информации о конкурентах в информационных сетях / Д.В. Сысоев, О.В. Курипта // Вестник Воронежского государственного технического университета. –Воронеж: ВГТУ. 2011. –Том 7. -№4. –С. 165-167.
9. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
10. Шильяк Д.Д. Децентрализованное управление сложными системами. - М.: Мир, 1994. – 576 с.
11. Сысоев В.В. Структурные исследования графов систем и их приложения к де-

композиции задачи исследования конфликтов / В.В. Сысоев, В.В. Меньших // Теория конфликта и ее приложения. Материалы I Всероссийской научно-технической конференции. – Воронеж: ВГТА, 2000, с. 21-23.

12. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. – М.: Мир, 1984. – 455с.

УДК 681.3

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра «Пожарной и промышленной безопасности»
Канд. техн. наук, доцент С.А. Сазонова
Россия, г.Воронеж, тел.: 8-920-400-22-99
E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, chair " Fire and Industrial Safety "
Ph. D. in Engineering, associate professor S.A. Sazonova
Russia, Voronezh, ph.: 8-920-400-22-99
E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

С.А. Сазонова

ИТЕРАТИВНЫЙ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МОДЕЛИ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются математические модели потокораспределения для систем теплоснабжения. Изложена последовательность численной реализации модели. Применяется энергетическое эквивалентирование при анализе возмущенного состояния системы теплоснабжения.

Ключевые слова: энергетическое эквивалентирование, система теплоснабжения, модель.

S.A. Sazonova

ITERATIVE PROCESS OF THE DECISION OF THE SYSTEM OF THE EQUATIONS TO MODELS OF THE ANALYSIS OF THE HEAT SUPPLY SYSTEMS

It's applied mathematical models of distribution flow analysis for heat supply system. The stated sequence numerical realization to models. It’s applied an energy eqvivalenting under analysis of disturbed state of heat supply system.

Keywords: energy eqvivalenting, heat supply system, model.

Математическая модель установившегося потокораспределения при неизотермическом течении вязкой среды в системах теплоснабжения (СТС) имеет вид [1]:

$$\mathrm{C}_{p\times n} \times \left\{\left(\mathrm{R}_{n(d)} + \mathrm{R}(\mathrm{Q})^{u}_{n(d)}\right) \times \mathrm{Q}^{u}_{n\times 1}\right\} = \mathrm{M}^{t}_{p\times e} \times \widehat{\mathrm{H}}_{e\times 1} \pm \sum_{i} \mathrm{H}\,(\mathrm{Q})^{u}_{i}; \tag{1}$$

$$\mathrm{K}_{r\times n}\left\{\left(\mathrm{R}_{n(d)} + \mathrm{R}(\mathrm{Q})^{u}_{n(d)}\right) \times \mathrm{Q}^{u}_{n\times 1}\right\} = 0_{r\times 1} \pm \sum_{i} \mathrm{H}\,(\mathrm{Q})^{u}_{i}; \tag{2}$$

$$\mathrm{A}_{m\times n} \times \mathrm{Q}^{u}_{n\times 1} = \hat{\mathrm{g}}_{m\times 1}; \tag{3}$$

$$\mathrm{E}_{n(d)} \times \left(\mathrm{B}_{n(d)} \times \Theta_{n\times 1} + \mathrm{T}''_{n\times 1}\right) = -\vec{\mathrm{A}}^{t}_{n\times m} \times \mathrm{T}'_{m\times 1}; \tag{4}$$

$$\overleftarrow{\mathrm{A}}_{m\times n} \times \mathrm{Q}^{u}_{n(d)} \times \mathrm{T}''_{n\times 1} - \vec{\mathrm{A}}_{m\times n} \times \mathrm{Q}^{u}_{n(d)} \times \mathrm{T}'_{n\times 1} = \vec{\mathrm{g}}_{m(d)} \times \mathrm{T}'_{m\times 1} - \overleftarrow{\mathrm{g}}_{m(d)} \times \widehat{\mathrm{T}}_{m\times 1} \tag{5}$$

Следует обратить внимание на то, что в (5) матрицы-столбцы температур смешения T' в левой части (n - по числу участков), а в правой части (m - по числу узлов). В этом нет ошибки, поскольку температура смешения в узле считается одинаковой для всех инцидентных ему участков, по которым осуществляется отток среды от узла.

Переменность температуры по длине трубопровода вследствие теплообмена с окружающей средой может быть обусловлена как технологическими, так и климатологиче-