

ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2004

№ 4 (5)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.
Выходит один раз в квартал
Декабрь 2004 г.

Главный редактор	д.т.н., профессор Ю.В. Чеботаревский
Зам. главного редактора	д.э.н., профессор В.Р. Атоян
Ответственный секретарь	д.т.н., профессор А.А. Игнатьев

Редакционный совет: д.э.н. В.Р. Атоян (заместитель председателя), д.т.н. А.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес, д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатьев, д.т.н. В.В. Калашников, д.ф.-м.н. Л.Ю. Коссович, д.т.н. И.А. Новаков, д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.т.н. Ю.В. Чеботаревский (председатель), д.ф.-м.н. Ян Аврейцевич (Польша), д.э.н. Улли Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Энтони Мерсер (Великобритания), д.э.н. Э.де Соузе Феррейра (Португалия), д.т.н. Т. Чермак (Чехия), д.э.н. Ю.В. Шленов.

Редакционная коллегия: д.т.н. К.П. Андрейченко, д.т.н. А.И. Андриющенко, д.т.н. Ю.С. Архангельский, д.ф.н. А.С. Борщов, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. Ю.Г. Ивашенко, д.т.н. Ю.Н. Климочкин, д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. В.М. Седелкин, к.ф.-м.н. А.Ю. Слепухин, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой
Перевод на английский язык А.М. Руст

Адрес редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77
Телефон: (845 2) 52 74 02
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Факс: (845 2) 50 67 40

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01
Подписано в печать 10.12.04
Формат 60×84 1/8 Бум. тип.
Усл. печ. л. 19,25 Уч.-изд. л. 20,5
Тираж 500 экз. Заказ 525.
Копипринтер СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

ISBN 5-7433-1514-0

© Саратовский государственный
технический университет, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Грезина А.В. Математическое моделирование динамики системы электрододержателей дуговых сталеплавильных печей	5
Крысько В.А., Савельева Н.Е. Управление временным хаосом в цилиндрических оболочках	10
Талонов А.В. Математическая модель описания процессов локальных фазовых переходов в периодических слоистых средах при изменении внешней температуры	19

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Абуталипов Р.Н., Кочетков А.В., Ермолаев В.И. Разработка принципов проектирования и программирования робототехнического комплекса поверхностной обработки	27
Любимов И.И. Динамика колесной нагрузки при колебаниях автомобиля	33

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Жилина Е.В., Бесшапошникова В.И., Артеменко С.Е., Сладков О.М. Оптимизация параметров формования акриловых термоклеевых пленочных материалов	39
Хлыстов А.В., Бабенко В.А. Математическое моделирование и оптимизация режимов железнения в «горячих» хлористых электролитах на асимметричном токе	44

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Иванченко Л.А., Пинчук Н.Д., Куда А.А., Кучерук И.В. Перспективы использования защитных покрытий типа гидроксипатит-стекло на металлах	48
Ильин А.К., Дуванов С.А. Анализ переменных режимов работы тепловых насосов	51
Козлитин А.М. Методы расчета риска техногенных аварий	58
Малая Э.М., Сергеева С.А. Энергосбережение как важный фактор развития инфраструктуры теплоснабжения	65
Печенегов Ю.Я. Теплообмен при течении в трубе турбулентного потока газа с взвешенными частицами твердого материала	75
Попов А.А., Андрищенко С.А., Попов А.И. Экономическая оценка теплового загрязнения как инструмент экологического аудита	82
Славягин П.Д., Хрусталев В.А. Совершенствование контроля герметичности твэлов при эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000	86
Степанов С.Ф., Аргюхов И.И., Коротков А.В., Погодин Н.В. Некоторые аспекты применения силовой преобразовательной техники в автономных источниках электроснабжения	91
Фролов В.П., Щербаков С.Н., Шелгинский А.Я. Научные основы подготовки специалистов для решения проблем энергосбережения	96
Хрусталёв В.А., Баженов А.И. Проблемы разработки энергоэффективных источников и систем энергообеспечения предприятий	100
Шелудько Л.П. Методика анализа характеристик ТЭЦ надстраиваемой ГТУ с паровыми котлами-утилизаторами	104
Шкрет А.Ф. Отдел энергетики Поволжья и его интеграция с вузовской наукой	114
Штерн Т.Д. Мониторинг развития биоэнергетики в Северо-Западном регионе Российской Федерации – шведско-российское сотрудничество	118

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Гусев С.А., Красникова Д.А., Добрыднев А.Е. Взаимосвязь показателей качества и конкурентоспособности автотранспортных услуг	124
Пахомова А.В., Отставнова Л.А. Инновационный подход к повышению эффективности использования рабочих мест	129
Понукалин А.А. Человековедение: перспективные направления исследования	137

ЮБИЛЕИ

Юрий Александрович Зайцев (к 70-летию со дня рождения)	151
Михаил Александрович Фурсаев (к 70-летию со дня рождения)	153
Геннадий Адамович Хасиневич (к 70-летию со дня рождения)	155

CONTENTS

PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

- Grezina A.V.** Mathematical modelling of the steel melting ARC furnaces electrode holders system dynamics5
Krysko V.A., Saveleva N.E. Time chaos controlling in cylindrical shells11
Talonov A.V. The mathematical model description of the local phase transitions processes in periodic layered environments at change of external temperature20

MACHINE RELIABILITY

- Abutalipov R.N., Kochetkov A.V., Jermolaev V.I.** The princips of a design & project development and programming of surfacial robo-technical complex proessing.....27
Lyubimov I.I. Dynamics of wheel loading at fluctuations of the automobile.....33

NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

- Zhilina E.V., Besshaposnikova V.I., Artemenko S.E., Sladkov O.M.** Optimization of formation parameters of acrylic thermoadhesive film materials.....39
Khlistov A.V., Babenko V.A. Mathematical modelling and optimization of modes of iron plating in "hot" chloride electrolytes on an asymmetric current44

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

- Ivanchenko L.A., Pinchuk N.D., Kuda A.A., Kucheruk I.V.** The prospects of using the protective coatings of the type of hydroxyapatite-glass – on the metals (for the works in the extreme conditions)48
Ilyin A.K., Duvanov S.A. Analysis of heat pumps work during variable regimes51
Kozlitin A.M. Methods of calculation of risk of emergency of industrial character59
Malaya E.M., Sergeeva S.A. Energy-saving as an important factor of development of a heat supply system infrastructure65
Pechenegov Y.J. Heat exchange at current in a pipe of a turbulent stream of gas with the weighed particles of a firm material75
Popov A.A., Andrjushenko S.A., Popov A.I. Economical estimation of the heat polution as an instrument of the ecological auditing82
Slavjagin P.D., Khroustalev V.A. Enhancing the hermetic control of uranium fuels under exploitation NPS with WWER-100087
Stepanov S.F., Artjukhov I.I., Korotkov A.V., Pogodin N.V. Some aspects power converting technics application in autonomous sources of elektro suply91
Frolov V.P., Shcherbakov S.N., Shelginsky A.J. Scientific bases preparation of experts for the decision problems of power supply96
Hrustalyov V.A., Bazhenov A.I. Problems of the development of the acceptance of the powerefficient sources and the systems of the energysupplying of enterprises.....101
Sheludko L.P. Methodics of analyses of characteristics of HPS with GTU and vapor boilers and utilizers104
Shkret A.F. The energy department of the Volga region and its integration with the scientific division of the higher education schools114
Stern T.D. Monitoring of development of bio-energetics in northwest region of the Russian Federation – the Swedish-Russian cooperation.....118

HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

- Gusev S.A., Krasnikova D.A., Dobridnev A.E.** Quality indices and ability of competition interaction of autotransport services124
Pahomova A.V., Otstavnova L.A. The innovative way to the workplaces' use efficiency129
Ponukalin A.A. Humansknow: the prospective directions studies.....138

JUBILEES

- Jurij Aleksandrovich Zaitsev (70-th anniversary)**151
Mikhael Aleksandrovich Fursaev (70-th anniversary)153
Gennadij Adamovich Hasinevich (70-th anniversary)155

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 621.791.039:518

А.В. Грезина**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОДОДЕРЖАТЕЛЕЙ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

Работа посвящена актуальной проблеме повышения устойчивости системы электрододержателей мощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП). На основе анализа геометрической схемы связей построена математическая модель, описывающая взаимосвязь крутильных колебаний верхних элементов системы электрододержателей с изменением электродинамических сил. Проведено исследование устойчивости методом D-разбиения. Расчеты динамической системы электрододержателей ДСП-100 показали, что наиболее эффективным методом повышения устойчивости является увеличение рассеивания энергии в стойке и роликовых опорах и уменьшение электродинамических сил, действующих на токоведущие части системы электрододержателей.

A.V. Grezina**MATHEMATICAL MODELLING OF THE STEEL MELTING ARC FURNACES
ELECTRODE HOLDERS SYSTEM DYNAMICS**

The article is dedicated to a pressing problem of the increase of stability of high-intensity steel-smelting arc furnaces' electrode holder systems (SSAF). A mathematical model describing interrelations of electric holders' upper elements torsion oscillations subject to electrodynamic force changes has been made on a basis of a geometric diagram of links. As evident from calculations, the most effective method of SSAF-100 stability increase consists in widening of energy diffusion in the stand and roller bearings and reduction of electrodynamic forces having an effect on conducting elements of electrode holder systems.

Введение

Работа посвящена актуальной проблеме повышения устойчивости системы электрододержателей (ЭД) дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Известно, что при их эксплуатации возникают низкочастотные колебания различной физической природы. Они могут быть связаны с колебаниями ЭД, печи с расплавленным металлом, колебаниями в системе автоматического регулирования, предназначенной для управления вертикальными перемещениями графитовых электродов. Наибольшую опасность представляют колебания

ЭД, которые снижают производительность этих энергетических установок и приводят к аварийной ситуации. Для решения этой сложной и недостаточно изученной проблемы необходимо изучить основные причины самовозбуждения колебаний системы ЭД с помощью геометрической схемы связей, построить математическую модель замкнутой динамической системы и провести исследование устойчивости.

1. Анализ причин самовозбуждения колебаний и построение математической модели системы электрододержателей дуговой сталеплавильной печи

Рассмотрим эквивалентную механическую модель одного электрододержателя (рис. 1) [1]. Стойка (0-1-2-3) и часть рукава (4-5) представлены в виде стержней с непрерывным распределением масс и жесткостей; средняя часть рукава с опорной плитой и кронштейном 6, электрод 7 с головкой 8 – в виде абсолютно твердых тел. В точках 1 и 2 введены упругие элементы роликовых опор, работающие на изгиб и кручение. Эти элементы имитируют упругие и диссипативные свойства роликовых опор вертикальной стойки.

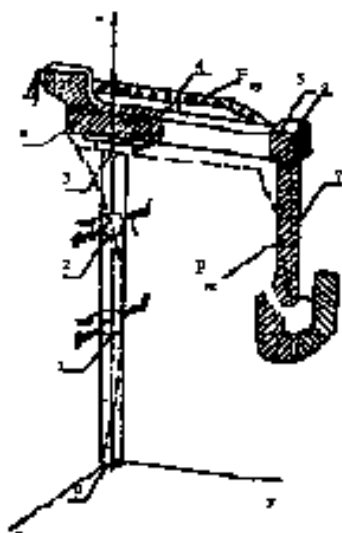


Рис. 1

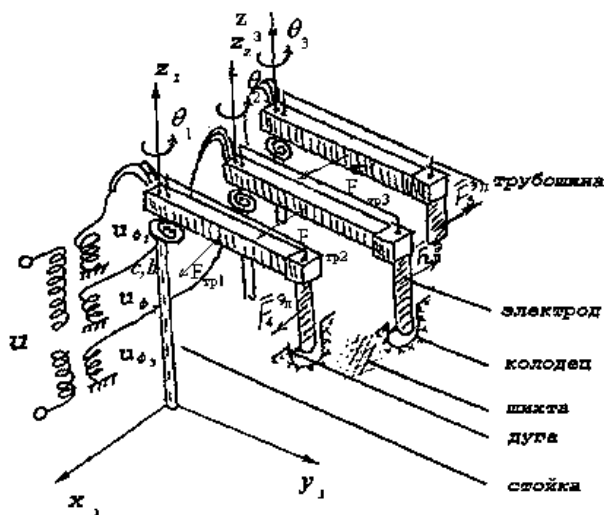


Рис. 2

Из анализа сил и моментов, действующих на каждый ЭД, и характера колебаний на низших частотах следует, что наибольшее практическое значение представляют изгибные колебания ЭД в направлении оси x и его чисто крутильные колебания относительно оси z . Математическая модель одного ЭД [1] представляет собой сложную систему дифференциальных уравнений в частных производных с достаточно сложными краевыми условиями. Использование этой системы для исследования устойчивости не представляется возможным из-за трудностей теоретического характера.

Результаты исследований, приведенные в работах [1,2], показали, что можно упростить эквивалентную механическую модель ЭД (рис. 1) и построить математическую модель, описывающую только крутильные колебания верхней горизонтальной части ЭД с электродом, так как их вклад в работу упругих сил составляет около 45%. При этом наибольшая роль принадлежит жесткости в кручении верхней части стойки ЭД элемента (2-3). Учитывая вышесказанное, построим математическую модель, описывающую взаимосвязь крутильных колебаний системы трех ЭД с изменением электродинамических сил, действующих на трубошины и электроды. Для этого рассмотрим эквивалентную механическую модель (рис. 2) [2], на которой в качестве основных колебательных элементов выделим верхние части ЭД (горизонтальный рукав с трубо-

шинами и электродом), представленные в виде твердых тел. Крутильная жесткость стоек представлена в виде дискретной пружины, имеющей приведенную жесткость c .

Для построения математической модели вычислим приведенные к центру масс электродинамические силы, действующие на трубошины F_{ijmp}^{\ominus} , и приведенные к центру масс электродинамические силы, действующие на электроды $F_{ij\ominus}^{\ominus}$. Выражения F_{ijmp}^{\ominus} и $F_{ij\ominus}^{\ominus}$ имеют следующий вид:

$$F_{ijmp}^{\ominus} = \frac{\mu_a I_i I_j l}{2\pi r_{ij}}, \quad F_{ij\ominus}^{\ominus} = \frac{\mu_a I_i I_j l_1}{2\pi r_{ij}}, \quad (1)$$

где $\mu_a = \mu_0 \mu$ – абсолютная магнитная проницаемость ($\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ – относительная магнитная проницаемость); I_i – сила тока в i -м проводнике; I_j – сила тока в j -м проводнике; l – длина проводника (верхней горизонтальной части ЭД); l_1 – длина электрода; r_{ij} – расстояние между i -м и j -м проводниками.

Природа самовозбуждающихся колебаний электрододержателей скрыта во взаимосвязи электродинамических сил, действующих на их токоведущие элементы (трубошины, электроды) с колебаниями упругой конструкции. Действительно, с одной стороны, система ЭД подвержена воздействию электродинамических сил и моментов, а с другой, колебания ЭД приводят к изменению длин дуг, что, в свою очередь, приводит к изменению протекающего в каждой фазе тока.

При колебаниях ЭД происходит изменение расстояний между ними на величину Δr_{ij} . Это приводит к изменению электродинамических сил, имеющих характер упругого взаимодействия, малые вариации которых можно записать в виде $\Delta F_{ij}^{\ominus} = \Delta r_{ij} \frac{\mu_a I_i^0 I_j^0 l}{2\pi r_{ij}^2}$, $\Delta r_{ij} = l(\Theta_j(t) - \Theta_i(t))$, где

$\Theta_i(t)$ – угол поворота верхней части i -го электрододержателя относительно оси z .

Колебания ЭД вызывают изменения длин дуг на величину Δl_g , и, соответственно, ΔI_i токов. При этом изменяются электродинамические силы, действующие на трубошины и электроды. Рассматривая малые изменения длины дуги l_g^0 и силы тока I_i^0 , приращение силы тока в i -м ЭД будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta I_i = - \frac{((\alpha_i + \beta_i l_g^0) + I_i^0 R) \beta_i \Delta l_{gi}}{I_i^2 (\chi^2 + R^2) + R(\alpha_i + \beta_i l_g^0)}, \quad (2)$$

где I_i^0 – стационарное значение силы тока в i -м проводнике; α_i – анодно-катодное напряжение на дуге; β_i – градиент столба дуги; χ , R – приведенные реактивное и активное сопротивления соответственно. Так как наибольший интерес представляет горение боковых дуг, то изменение длин горящих дуг от стационарного значения l_g^0 с изменением обобщенных координат $\Theta_i(t)$ запишем в виде $\Delta l_{gi} = l \Theta_i(t - \tau)$. Таким образом запишем выражения приращений приведенных электродинамических сил в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta F_{1,imp}^{\ominus} &= \Delta I_i \frac{\mu_a I_1^0 l}{2\pi r_{1i}^0}, \quad \Delta F_{1,i\ominus}^{\ominus} = \Delta I_i \frac{\mu_a I_1^0 l_1}{2\pi r_{1i}^0}, \quad i = 2, 3; \\ \Delta F_{2,jmp}^{\ominus} &= \Delta I_j \frac{\mu_a I_2^0 l}{2\pi r_{2j}^0}, \quad \Delta F_{2,j\ominus}^{\ominus} = \Delta I_j \frac{\mu_a I_2^0 l_1}{2\pi r_{2j}^0}, \quad j = 1, 3; \\ \Delta F_{3,kmp}^{\ominus} &= \Delta I_k \frac{\mu_a I_3^0 l}{2\pi r_{3k}^0}, \quad \Delta F_{3,k\ominus}^{\ominus} = \Delta I_k \frac{\mu_a I_3^0 l_1}{2\pi r_{3k}^0}, \quad k = 1, 2. \end{aligned} \quad (3)$$

Проведем анализ причин самовозбуждения колебаний системы ЭД с помощью геометрической схемы связей. Геометрическая схема связей представляет собой систему взаимодействующих между собой осцилляторов, которые обозначаются точками, а действующие между ними направленные и взаимные связи (силы), соответственно направленными и ненаправленными отрезками. Тогда замкнутый контур без самопересечений, составленный из ненаправленных и по крайней мере одного направленного отрезка, проходящего в одном направлении, определяется как цикл. Для дискретных линеаризованных систем доказано [3], что необходимым условием экспоненциальной неустойчивости статически устойчивой системы является наличие на геометрической схеме связей отрицательного трения или цикла. Учитывая электродинамические силы, действующие на каждый ЭД, построим геометрическую схему связей рассматриваемой системы (рис. 3).

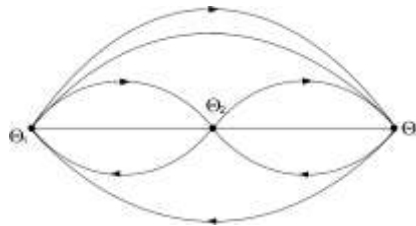


Рис. 3

Из геометрической схемы связей следует, что между осцилляторами $\Theta_1(t), \Theta_2(t), \Theta_3(t)$ действуют взаимные и направленные связи по координате, обусловленные наличием электродинамических сил. Используя теорию чувствительности, найден процентный вклад каждого цикла в суммарную работу всех циклов, увеличивающих энергию динамической системы ЭД на потенциально неустойчивой 1-й форме колебаний. Результаты исследований показали, что наибольший вклад в увеличение энергии вносят циклы, определяемые электродинамическими силами соседних фаз.

Из экспериментальных и теоретических исследований следует, что запаздывание также является одним из основных причин самовозбуждения колебаний ЭД, так как в силу инерционных свойств электрических контуров системы, электродинамические силы формируются не мгновенно, а с некоторым запаздыванием $\tau = \chi / (2\pi fR)$ (где f – собственная частота колебаний) являющимся постоянной времени электрического контура цепи.

В результате анализа геометрической схемы связей математическая модель замкнутой динамической системы ЭД в принятой идеализации представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений 6-го порядка с запаздыванием

$$\begin{aligned}
 & J_1 \ddot{\Theta}_1(t) + b_1 \dot{\Theta}_1(t) + c_1 \Theta_1(t) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_1^0 I_2^0}{2\pi r_{12}^{0,2}} (\Theta_1(t) - \Theta_2(t)) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_1^0 I_3^0}{2\pi r_{13}^{0,2}} \cdot \\
 & \quad \cdot (\Theta_1(t) - \Theta_3(t)) = \Delta M_{12mp}^\vartheta + \Delta M_{12\vartheta} + \Delta M_{13mp}^\vartheta + \Delta M_{13\vartheta} ; \\
 & J_2 \ddot{\Theta}_2(t) + b_2 \dot{\Theta}_2(t) + c_2 \Theta_2(t) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_2^0 I_1^0}{2\pi r_{12}^{0,2}} (\Theta_2(t) - \Theta_1(t)) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_2^0 I_3^0}{2\pi r_{23}^{0,2}} \cdot \\
 & \quad \cdot (\Theta_2(t) - \Theta_3(t)) = \Delta M_{21mp}^\vartheta + \Delta M_{21\vartheta} + \Delta M_{23mp}^\vartheta + \Delta M_{23\vartheta} ; \\
 & J_3 \ddot{\Theta}_3(t) + b_3 \dot{\Theta}_3(t) + c_3 \Theta_3(t) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_3^0 I_1^0}{2\pi r_{31}^{0,2}} (\Theta_3(t) - \Theta_1(t)) + l^2 \left(\frac{l}{2} + l_1\right) \mu_a \frac{I_3^0 I_2^0}{2\pi r_{32}^{0,2}} \cdot \\
 & \quad \cdot (\Theta_3(t) - \Theta_2(t)) = \Delta M_{31mp}^\vartheta + \Delta M_{31\vartheta} + \Delta M_{32mp}^\vartheta + \Delta M_{32\vartheta} ,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где $\Delta M_{ijmp} = \frac{\mu_a I_i^0 l^2}{2\pi r_{ij}} \cdot \frac{(\alpha_j + \beta_j l_g^0) + I_j^0 R}{I_i^0 (R^2 + \chi^2) + R(\alpha_j + \beta_j l_g^0)} \cdot \beta_j l \Theta_j(t - \tau),$

$$\Delta M_{ijg} = \frac{\mu_a I_i^0}{2\pi r_{ij}} l_1 l \cdot \frac{(\alpha_j + \beta_j l_g^0) + I_j^0 R}{I_i^0 (R^2 + \chi^2) + R(\alpha_j + \beta_j l_g^0)} \cdot \beta_j l \Theta_j(t - \tau),$$

c_i, b_i, J_i – приведенная жесткость, коэффициент рассеивания энергии, момент инерции верхней части i -го электрододержателя с электродом.

2. Исследование устойчивости системы ЭД

Для исследования устойчивости системы ЭД запишем математическую модель в более удобном виде

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\Theta}_1(t) + b_1 \dot{\Theta}_1(t) + c_{11} \Theta_1(t) - c_{12} \Theta_2(t) - c_{13} \Theta_3(t) &= -\sigma_{12} \Theta_2(t - \tau) - \sigma_{13} \Theta_3(t - \tau); \\ J_2 \ddot{\Theta}_2(t) + b_2 \dot{\Theta}_2(t) + c_{22} \Theta_2(t) - c_{21} \Theta_1(t) - c_{23} \Theta_3(t) &= -\sigma_{21} \Theta_1(t - \tau) - \sigma_{23} \Theta_3(t - \tau); \\ J_3 \ddot{\Theta}_3(t) + b_3 \dot{\Theta}_3(t) + c_{33} \Theta_3(t) - c_{31} \Theta_1(t) - c_{32} \Theta_2(t) &= -\sigma_{31} \Theta_1(t - \tau) - \sigma_{32} \Theta_2(t - \tau). \end{aligned} \quad (5)$$

Считая, что активные и реактивные сопротивления, анодно-катодные напряжения на дуге, градиент столба дуги и стационарные значения силы тока одинаковы во всех трех фазах печи, можно записать $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha, \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta, r_{12} = r_{23} = r_{13} / 2, c_{13} = c, c_{12} = c_{23} = 4c_{13}, c_{11} = c_{33} = c_1, c_{22} = c_2, \sigma_{12} = \sigma_{21} = \sigma_{23} = \sigma_{32} = 2\sigma, \sigma_{13} = \sigma_{31} = \sigma.$

Характеристическое уравнение представляет собой квазиполином

$$\begin{aligned} 8\sigma^3 e^{-3p\tau} - (40c + 8P_1 + P_2)\sigma^2 e^{-2p\tau} + (64c^2 + 32P_1 + 2P_2)c\sigma e^{-p\tau} - \\ - 32c^3 - (32P_1 + P_2)c^2 + P_1^2 P_2 = 0, \end{aligned}$$

где $P_1(p) = Jp^2 + bp + c_1, P_2(p) = Jp^2 + bp + c_2, J_i = J, b_i = b.$

Исследование устойчивости проведем методом D -разбиения. Так как параметры направленных связей входят в него нелинейно, то нельзя использовать стандартные приемы построения D -разбиения по одному комплексному параметру. В связи с этим введем в характеристическое уравнение комплексный параметр $w(p)$, равный

$$\begin{aligned} w(p) = \frac{1}{P_1^2 P_2} \left(8\sigma^3 e^{-3p\tau} - (40c + 8P_1 + P_2)\sigma^2 e^{-2p\tau} + \right. \\ \left. + (64c^2 + 32P_1 + 2P_2)c\sigma e^{-p\tau} - 32c^3 - (32P_1 + P_2)c^2 \right). \end{aligned}$$

Исходному значению квазиполинома соответствует $w = -1$. Построим D -разбиение при $p = i\omega, 0 \leq \omega < \infty$ и найдем область устойчивости $D(0)$. Кривая для $-\infty < \omega < 0$ получается зеркальным отображением построенной кривой относительно реальной оси. Используя правила штриховки, найдем область устойчивости $D(0)$. Если точка $w = -1$ находится внутри области $D(0)$, то исследуемая система устойчива.

Меня эквивалентную жесткость c [Нм], коэффициенты рассеивания энергии b [Нмс] и направленных связей σ [Нм], построим D -разбиение и определим, устойчива ли система при данных значениях параметров. Результаты исследований, диаграммы устойчивости приведены в таблице. Знак «+» означает, что при соответствующих параметрах система устойчива, знак «-» – неустойчива.

Сравнение найденных расчетных значений бифуркационных параметров с параметрами, соответствующими действующим образцам дуговых печей марки ДСП-100, показывает, что наиболее эффективным методом достижения устойчивости является увеличение па-

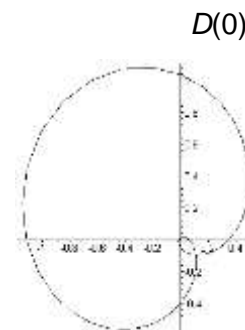
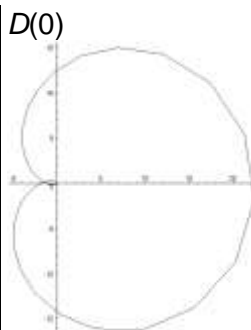
раметра рассеивания энергии и уменьшение направленных связей. Изменение параметра приведенной жесткости верхней части стойки оказывает меньшее влияние на устойчивость.

$$\mu_a = 1,25 \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma\text{Н}}{\text{М}}$$

$$\mu_a = 1,04 \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma\text{Н}}{\text{М}}$$

$$\mu_a = 1,25 \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma\text{Н}}{\text{М}}$$

$c \backslash b$	$3.5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	$7.8 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$
$3 \cdot 10^7$	-	+	+	+	+
$3.5 \cdot 10^7$	-	-	-	-	-
$4 \cdot 10^7$	-	-	-	-	-
$4.5 \cdot 10^7$	-	-	-	-	-
$5 \cdot 10^7$	-	-	+	+	+
$5.5 \cdot 10^7$	+	+	+	+	+
$6 \cdot 10^7$	+	+	+	+	+
$7 \cdot 10^7$	-	-	+	+	+
$8 \cdot 10^7$	-	-	-	+	+
$3.5 \cdot 10^8$	+	+	+	+	+



$c = 5,0 \times 10^7 \text{ Нм}, b = 6,0 \times 10^4 \text{ Нмс}$

Система
устойчива

Система
неустойчива

ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий Ю.И., Коваль Н.В., Некоркин Ю.Е. Математическое моделирование колебаний электрододержателей мощных дуговых сталеплавильных печей // Математическое моделирование и оптимизация: Межвуз. тематич. сб. науч. трудов / Под ред. А.В. Сергиевского. Н.Новгород: ННГУ, 1991. С.147-160.
2. Городецкий Ю.И., Грезина А.В. Построение математической модели для исследования устойчивости колебаний электрододержателей сталеплавильных печей // Проблемы теории колебаний: Межвуз. сб. науч. трудов. Н.Новгород: ННГУ, 1995. С.94-102.
3. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1978. 336 с.

Грезина Александра Викторовна –

кандидат физико-математических наук,
старший преподаватель кафедры «Прикладная математика»
Нижегородского государственного университета

УДК 539.3, 534.1

В.А. Крысько, Н.Е. Савельева

УПРАВЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫМ ХАОСОМ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ

Исследуется вопрос о возможности управления хаосом в замкнутых цилиндрических оболочках. Под процессом управления хаосом понимаем преобразование хаотического поведения системы в регулярное или хаотиче-

ское, но с другими свойствами, с помощью малых целенаправленных продольных знакопеременных периодических воздействий, а также действия поперечной нагрузки в противофазе.

V.A. Krysko, N.E. Saveleva

TIME CHAOS CONTROLLING IN CYLINDRICAL SHELLS

The question of an opportunity of chaos controlling in closed cylindrical shells is investigated here. As managerial process by chaos we understand transformation of chaotic behavior of system in regular or chaotic, but with other properties, with the help of small purposeful longitudinal sign-variable periodic influences, and also actions of shearing loading in an antiphase.

Введение

Хаотические колебания – это возникновение неупорядоченных движений в совершенно детерминированных системах. Такие движения и ранее обнаруживались в механике жидкостей, но недавно их заметили в механике пластин и оболочек [1-6]. Вопрос о существовании и единственности решения динамической задачи для оболочек типа Тимошенко исследовался в [7,8].

Математическая модель цилиндрических оболочек построена на основе кинематической модели Кирхгофа – Лява и учете нелинейной зависимости между деформациями и перемещениями. Это приводит к системе неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных относительно функций прогиба и усилий. Для сведения распределенной системы к системе с сосредоточенными параметрами по пространственным переменным применяется метод Бубнова – Галеркина в высших приближениях, что позволяет рассматривать цилиндрическую оболочку как механическую систему с бесконечным числом степеней свободы. Система обыкновенных дифференциальных уравнений по времени решается методом Рунге – Кутты четвертого порядка точности, тем самым мы реализуем колебательный процесс.

Управлению временным хаосом в известной нам литературе посвящено ограниченное количество исследований, причем, в основном эти исследования касаются простых моделей распределенных систем в виде цепочки связанных отображений. Впервые задача об управлении хаосом была поставлена в статьях Хьюблера и Люгера [9], Джексона [10, 11] и ставшей классической работе Отто, Грелоджи, Йорка [12]. В обзоре [13] можно найти ссылки на более ранние источники, которые в той или иной степени имеют отношение к данной идее. Задачи об управлении хаосом рассматривались в гидродинамике [14], химии [15], биологии и медицине [16]. В теории оболочек этой проблеме в известной нам литературе внимания не было уделено. В настоящей работе проведено изучение управления временным хаосом в таких сложных объектах как цилиндрические оболочки, находящиеся под действием неравномерного внешнего воздействия.

Математическая модель

В рамках нелинейной классической теории пологих оболочек рассмотрим замкнутую цилиндрическую оболочку кругового сечения конечной длины с постоянными жесткостью и плотностью при действии неравномерного знакопеременного внешнего давления.

Введем систему координат: ось x направлена по продольной координате, ось y – по окружной координате, ось z – по нормали к срединной поверхности (рис. 1). Цилиндрическая оболочка как трехмерная область Ω в данной системе координат определяется

$$\Omega = \{x, y, z \mid (x, y) \in [0; l] \times [0; 2\pi], -h \leq z \leq h\}.$$

Исходными являются уравнения теории пологих оболочек в безразмерном виде [17]:

$$\frac{1}{12(1-\mu^2)} (\nabla^4 w) - k_y \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - L(w, F) - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} + k_y^2 q(x, y, t) - p_x(x, y, t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$$

$$\nabla^4 F + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} L(w, w) = 0, \tag{1}$$

где $L(w, F)$ – известный нелинейный оператор.

Система (1) приведена к безразмерному виду с использованием известных безразмерных параметров [18] (черточка над безразмерными величинами для простоты опущена). В (1) μ – коэффициент Пуассона, ε – коэффициент демпфирования, $\lambda=L/R$, где L и $R=R_y$ – длина и радиус круговой цилиндрической оболочки, $k_y=1/R_y$ – кривизна оболочки по y , $q(x, y, t)$ – внешнее давление.

Граничные условия:

$$w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; \quad F = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при } x = 0; 1,$$

$$w = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0; \quad F = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = 0 \quad \text{при } y = 0; 2\pi. \tag{2}$$

Начальные условия:

$$w(x, y) |_{t=0} = 0, \quad \dot{w} |_{t=0} = 0. \tag{3}$$

Рассмотрим диссипативную систему при приложении поперечного внешнего давления по полосе $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$, $0 \leq x \leq 1$, изменяющегося по гармоническому закону $q(t) = q_0 \sin(\omega_p t)$, где q_0 и ω_p – амплитуда и частота вынуждающей силы, $\mu=0,3$, $\varepsilon=9$, $\lambda=L/R=2$.

Метод исследования – метод Бубнова – Галеркина в представлении Фурье

Исследуем шарнирно опертую по криволинейному контуру замкнутую цилиндрическую оболочку с однородными граничными условиями (2) и начальными условиями (3). Искомые функции, являющиеся решением уравнений (1), аппроксимируем выражением, содержащим конечное число произвольных параметров, зависящих от времени, и представим в виде произведения двух функций по пространственным переменным, каждая из которых зависит только от одного аргумента, удовлетворяющих краевым условиям (2). Пробные функции в данном случае имеют вид:

$$\varphi_{ij}(x, y) = \sin(i \pi x) \cos(j y). \tag{4}$$

Это решение основано на пробных функциях, являющихся энергетически ортонормированными, т.е. таких, что

$$(\nabla^4(\varphi_{ij}), \varphi_{nm}) = \begin{cases} 0, & \text{при } i, j \neq n, m \\ 1, & \text{при } i, j = n, m \end{cases}, \tag{5}$$

тогда

$$w = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=0}^{M_y} A_{ij}(t) \sin(i \pi x) \cos(j y), \quad F = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=0}^{M_y} B_{ij}(t) \sin(i \pi x) \cos(j y). \tag{6}$$

После применения метода Бубнова – Галеркина в высших приближениях по пространственным координатам получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов B_{ij} , которая решается методом обратной матрицы, и систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) 2-го порядка относительно коэффициентов A_{ij} , которая редуцируется к нормальной и решается методом Рунге – Кутты четвертого порядка точности:

$$K_{ij}B_{ij} = F_1(A_{ij}), \quad (7)$$

$$\begin{cases} \frac{dA_{ij}}{dt} = X_{ij}, \\ \frac{dX_{ij}}{dt} + \varepsilon X_{ij} = F_2(A_{ij}, B_{ij}, t), \quad i = \overline{1, M_x}, j = \overline{0, M_y}, \end{cases} \quad (8)$$

где K_{ij} в (7) – матрица коэффициентов линейной алгебраической системы уравнений относительно неизвестных параметров B_{ij} ; $F_1(A_{ij})$ – столбец свободных членов, зависящий от параметров A_{ij} , (8) – нормальная система ОДУ первого порядка относительно неизвестных A_{ij} и X_{ij} . Шаг по времени выбирается из условия устойчивости решения ($\Delta t = 1,9531 \cdot 10^{-3}$).

Предварительно была установлена сходимость метода Бубнова – Галеркина по приближениям, т.е. в зависимости от числа членов ряда (6). Так как нагрузка прикладывается по всей длине цилиндрической оболочки, то число членов ряда по координате x не играет роли и можно удержать в (6) один член ряда ($M_x=1$). В ходе исследования было установлено, что оптимальным количеством членов в ряде (6) по окружной координате является $M_y=15$. Более подробно о сходимости примененного метода см. в работе [19].

Следует отметить, что численные результаты для стационарной задачи, полученные в настоящей работе, полностью совпадают с результатами работы [20], что подтверждает достоверность полученных результатов с использованием метода Бубнова – Галеркина в высших приближениях [21].

Управление хаосом

Под процессом управления хаосом понимаем преобразование хаотического поведения системы в регулярное или хаотическое, но с другими свойствами, с помощью малых целенаправленных продольных знакопеременных периодических воздействий $p_x(x,t) = p_0(x)\sin(\omega_p t)$, а также действия поперечной нагрузки в противофазе.

Здесь следует отметить, что хаотические колебания в цилиндрических оболочках были получены при управлении множеством $\{q_0, \omega_p\}$ под действием полосовой поперечной нагрузки $q(x,y,t) = q_0(x,y)\sin(\omega_p t)$, где $q_0(x,y)$ – вынуждающая сила, зависящая от координат (x,y) , ω_p – частоты вынуждающей нагрузки. Анализ проводится при помощи анализа фазовых портретов, спектральной плотности мощности, спектра ляпуновских характеристических экспонент, отображения Пуанкаре. Это дает нам возможность определять структуру многочастотных и стохастических колебаний, анализировать механизм перехода между различными колебательными режимами и управлять ими.

Рассмотрим случай приложения поперечной знакопеременной внешней нагрузки в противофазе, т.е. $q(x,y,t) = q_0(x,y)\sin(\omega_p t + 2\pi)$, где $q_0(x,y) = \text{const}$ (рис. 2). Анализ характера колебаний будем проводить на основе зависимости $w_{\max}(q_0)$ и $w_{\max,1}(q_0)$ для двух случаев расположения полосовой нагрузки:

- нагрузка приложена по одной полосе, шириной $\varphi_0 = 180^\circ$;
- нагрузка приложена по двум полосам, каждая шириной $\varphi_{0,1} = \varphi_{0,2} = 90^\circ$.

Здесь $w_{\max}(q_0)$ – максимальные прогибы в зависимости от амплитуды q_0 для случая $q(x,y,t) = q_0(x,y)\sin(\omega_p t)$, $w_{\max,1}(q_0)$ – максимальные прогибы в зависимости от амплитуды q_0 для случая $q(x,y,t) = q_0(x,y)\sin(\omega_p t + 2\pi)$.

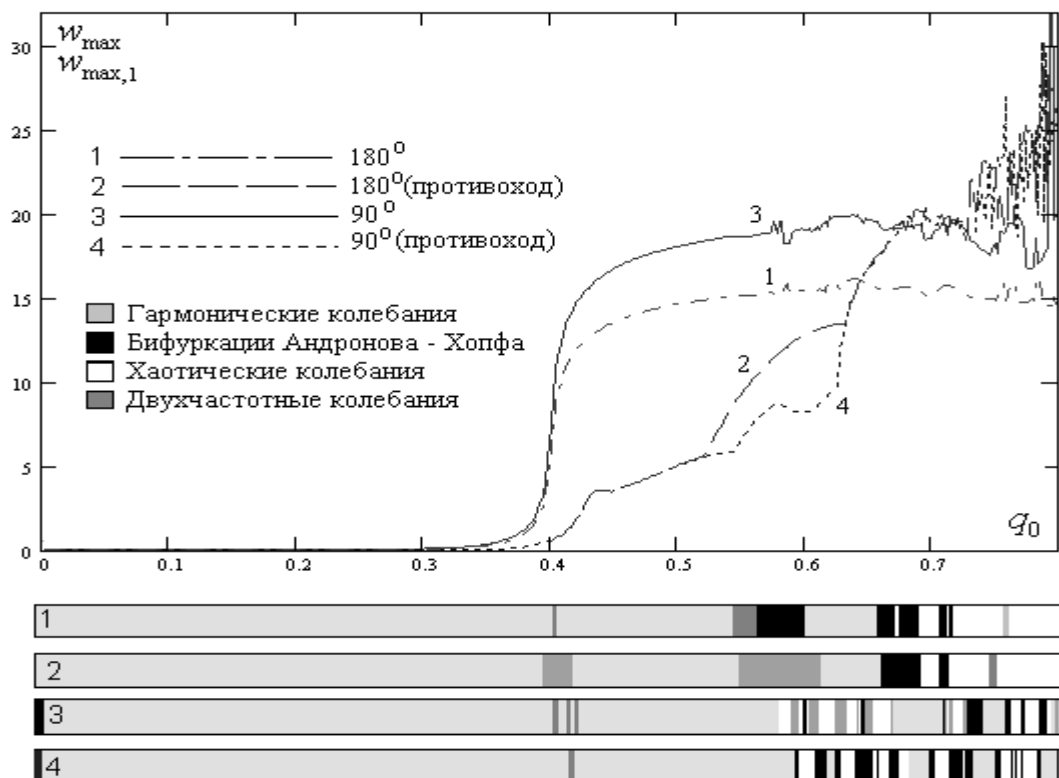


Рис. 2. Зависимости $w_{\max}(q_0)$ и $w_{\max,1}(q_0)$ и шкалы характера колебаний

Следует отметить, что характер зависимости $w_{\max}(q_0)$ и $w_{\max,1}(q_0)$ в обоих вышеописанных случаях существенно зависит от противофазы, но при малой амплитуде вынуждающей силы ($q_0 \leq 0,4$ для $\varphi_{0,1} = \varphi_{0,2} = 90^\circ$ и $q_0 \leq 0,52$ для $\varphi_0 = 180^\circ$) максимальные прогибы совпадают.

Таким образом, путём изменения характера нагрузки мы получили возможность управлять поведением колебаний оболочек, а именно существенно увеличить зону гармонических колебаний. Действием поперечной нагрузки в противофазе мы добились того, что в системе увеличилась критическая нагрузка, при которой происходит жесткая потеря устойчивости, и при этом существенно снизилось закритическое значение прогиба (табл. 1).

Таблица 1

Внешняя нагрузка, $\varphi_0 = 180^\circ$	$W_{\text{докр}}$	$q_{0,kr}$	$W_{\text{закр}}$
$q(x, y, t) = q_0(x, y) \sin(\omega_p t)$	1,2671	0,384	12,963
$q(x, y, t) = q_0(x, y) \sin(\omega_p t + 2\pi)$	1,2887	0,415	3,4796

Проанализируем также шкалу характера колебаний для $w_{\max}(q_0)$ и $w_{\max,1}(q_0)$ (рис. 2). Идентификация типа колебаний цилиндрической оболочки при построении шкал характера колебаний $\{q_0, \omega_0\}$ для каждого сигнала $w(t)$ проводилась с помощью анализа спектра мощности $S(\omega)$ и ляпуновских показателей. Условные обозначения приведены на рис. 2. Под хаотическими колебаниями понимаем возникновение неупорядоченных движений в совершенно детерминированных системах.

Можно отметить, что приложение нагрузки в противофазе оказывает существенное влияние на тип колебаний цилиндрической оболочки, при этом увеличивается зона гармонических колебаний при больших значениях амплитуды внешней нагрузки q_0 , поэтому прило-

жение нагрузки в противофазе можно считать эффективным способом управления хаотическими колебаниями.

Рассмотрим случай приложения совместно с поперечным внешним гармоническим давлением $q(x,y,t)=q_0 \sin(\omega_p t)$ продольной нагрузки, также изменяющейся по синусоидальному закону $p_x(x,t)=p_0(x) \sin(\omega_p t)$. Здесь $\omega_p=\omega_0$ – частота собственных линейных колебаний цилиндрической оболочки. На рис. 3 показаны зависимости $w_{\max}(q_0)$ при фиксированном значении p_0 . Анализ шкал характера колебаний показывает, что приложение продольной нагрузки приводит к смене типа колебаний механической системы, причем изменение может происходить как от хаотических колебаний к гармоническим (или к возникновению бифуркаций Андронова – Хопфа), так и наоборот, т.е. от гармонических колебаний к хаосу. Таким образом, выводя систему из состояния хаоса при одних значениях нагрузки, можем получить хаотические колебания при других.

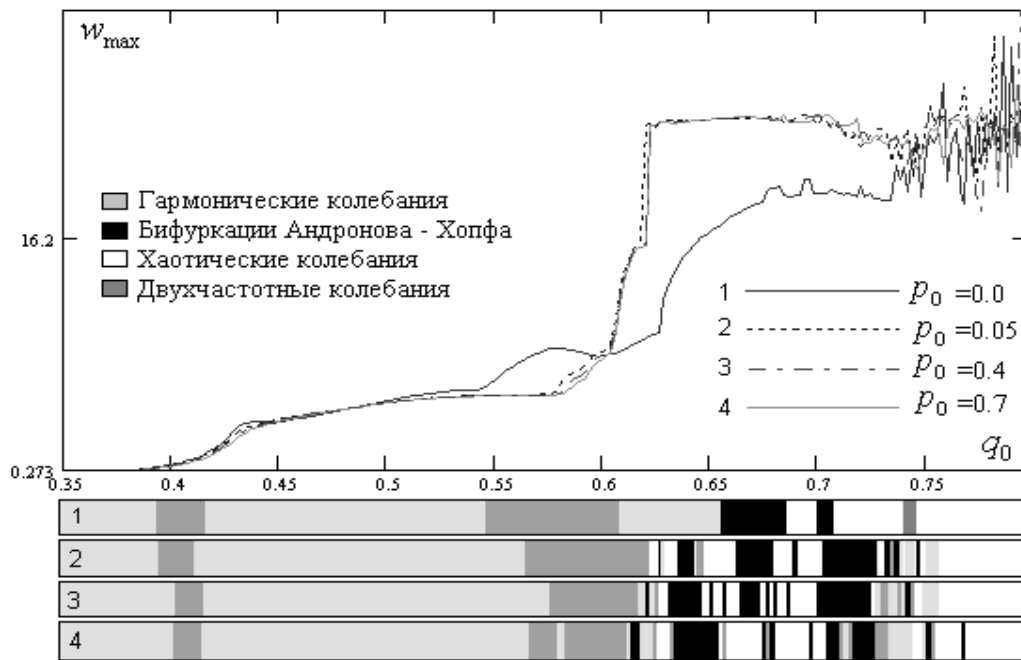


Рис. 3. Зависимости $w_{\max}(q_0)$ и шкалы характера колебаний

Зафиксируем амплитуду поперечной нагрузки $q_0=0,71$ (пунктирная линия на карте характера колебаний, рис. 5,а) При отсутствии продольных колебаний механическая система находится при таком значении q_0 в состоянии хаоса. Затем приложим к цилиндрической оболочке продольное воздействие. На рис. 4 представлена зависимость $w_{\max}(p_0)$, анализ которой совместно со шкалой характера колебаний приводит к выводу о том, что таким образом система в данной точке $\{q_0, \omega_p\}=\{0,71, \omega_p\}$ вышла из состояния хаоса и перешла в состояние гармонических колебаний с присутствием мягких бифуркаций Андронова – Хопфа.

Рассмотрим влияние действия продольной знакопеременной нагрузки на множестве частот колебаний $\left\{ \omega_0 - \frac{\omega_0}{2}, \omega_0 + \frac{\omega_0}{2} \right\}$ (рис. 5, а,б). Для этого построим карты характера колебаний для множества управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$, где q_0 меняется в пределах $[0,32; 0,8]$, а частота вынуждающей силы $\omega_p \in \left[\omega_0 - \frac{\omega_0}{2}; \omega_0 + \frac{\omega_0}{2} \right]$.

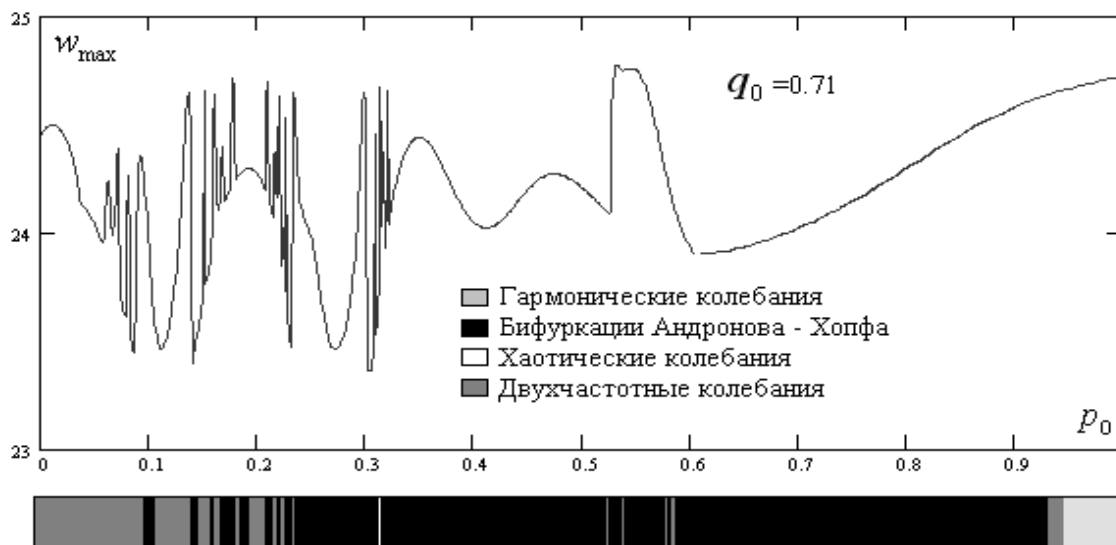


Рис. 4. Зависимость $w_{\max}(q_0)$ и шкала характера колебаний

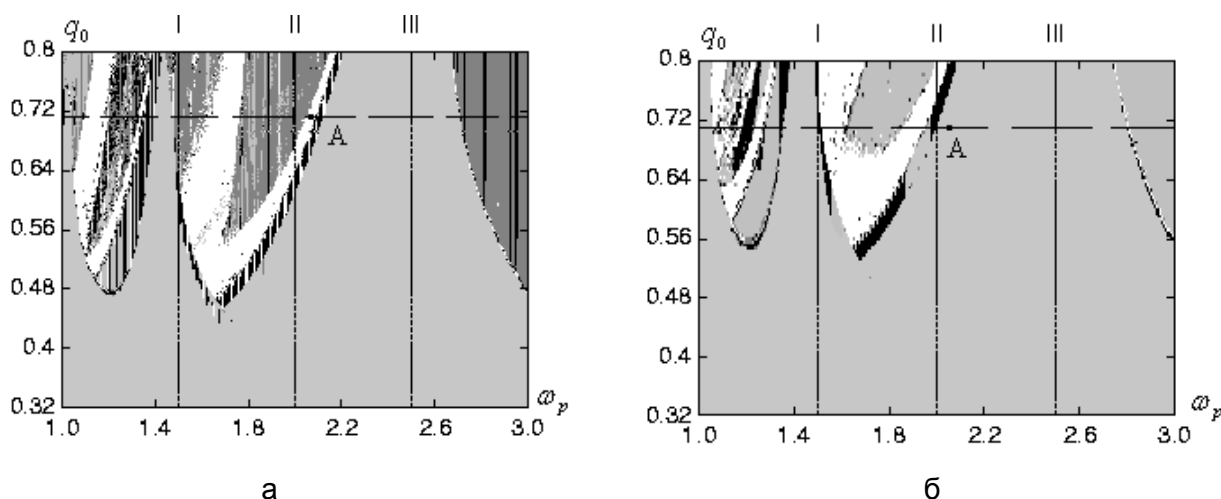


Рис. 5. Карты управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$: а) действие поперечной нагрузки $q=q_0 \sin(\omega_p t)$; б) действие поперечной нагрузки $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ и продольной нагрузки $p=20 \sin(\omega_p t)$


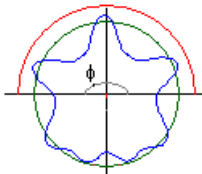

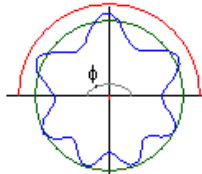

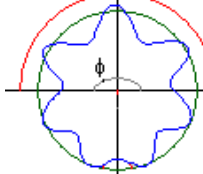

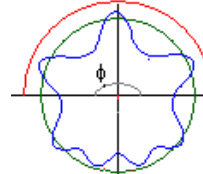

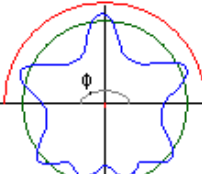

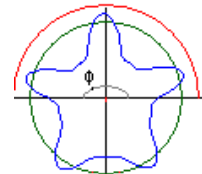

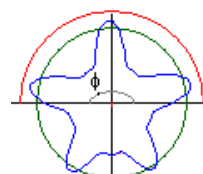

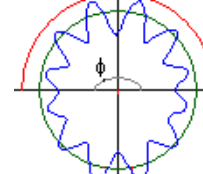
Можно отметить, что общая картина при совместном действии поперечной и продольной нагрузок сохраняется, т.е. наблюдаем большую область гармонических колебаний на всех частотах ($q_0 \leq 0,47$ для действия только поперечной нагрузки и $q_0 \leq 0,52$ для совместного действия поперечной и продольной нагрузок), затем появляются лепестки, состоящие из зон бифуркаций Андронова – Хопфа, зон двухчастотных колебаний и областей хаоса. Однако следует заметить, что возникновение таких лепестков при действии продольной нагрузки происходит при большей амплитуде внешней поперечной нагрузки. Также существенно сошлись как зоны мягких бифуркаций, так и области хаотических колебаний.

Однако те точки карты, которые находились в зоне двухчастотных колебаний (см. первую контрольную линию), перешли в область хаотических колебаний после приложения продольного давления. Следовательно, приходим к выводу о том, что приложение продольной нагрузки совместно с поперечным внешним давлением приводит к смене типа колебаний механической системы на всех изученных частотах, причем изменение может происходить как от хаотических колебаний к гармоническим, так и наоборот, т.е. от гармонических

колебаний к хаосу. Таким образом, выводя систему из состояния хаоса при одних значениях нагрузки, можем получить хаотические колебания при других.

Рассмотрим поведение системы в пространстве. Для этого проследим, какое влияние оказывает приложение продольной нагрузки на различных уровнях нагружения на поведение цилиндра в целом при изменении x и y в пределах $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 2\pi$ и на формы поперечного сечения при фиксированном значении $x=0,5$; $0 \leq y \leq 2\pi$. В табл. 2 представлены такие формы волнообразования и соответствующие им поперечные сечения цилиндрической оболочки.

Таблица 2

  <p>$q_0=0,71, p_0=0,05$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=0,4$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=0,7$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=2,5$</p>
  <p>$q_0=0,71, p_0=5,0$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=7,0$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=20,0$</p>	  <p>$q_0=0,71, p_0=50,0$</p>

Получаем, что при движении по амплитуде продольного нагружения p_0 число полуволн по окружной координате остается неизменным и равно 7 ($p_0 \leq 5,0$), но происходит распределение максимальных прогибов. Так, при малых значениях ($p_0=0,05$) максимальные прогибы сосредоточены внутри зоны приложения поперечного внешнего давления, затем, по мере плавного роста амплитуды продольной нагрузки p_0 максимумы распространяются и на зоны, свободные от поперечного нагружения. Затем, при некотором контрольном значении $p_0=7,0$ число полуволн по окружной координате сокращается до 5, при этом существенные изменения касаются только зоны, свободной от поперечного нагружения, внутри же нагруженной области число полуволн и характер прогибов не меняются.

Такая картина в пространственном поведении цилиндрической оболочки остается до $p_0=50$. При этом критическом продольном нагружении число полуволн резко увеличивается до 12 и расположение полуволн становится симметричным относительно линии приложения поперечного давления.

Следовательно, одним из способов управления пространственно-временным хаосом в механических системах в виде замкнутых цилиндрических оболочек является воздействие на систему малых целенаправленных продольных знакопеременных периодических воздействий.

Таким образом, в системе с хаотическим аттрактором изменение поведения системы можно достигнуть малыми, определенным образом заданными управляющими воздействиями. Кроме того, в ней сосуществует счетное множество неустойчивых регулярных состояний, что в принципе неограниченно расширяет выбор возможных режимов работы механической системы.

Такого рода методика связана с задачей управляемой (или принудительной) синхронизации. Это дает возможность с помощью указанной процедуры определить хаотические подмножества, соответствующие синхронные движения идентичных систем можно преобразовать в устойчивые по одним собственным направлениям при сохранении неустойчивости по другим. В результате осуществляется управление переходом от асинхронных хаотических колебаний к режиму полной синхронизации хаоса.

Заключение

В работе предложен способ управления хаосом путем преобразования хаотического поведения системы в регулярное или хаотическое, но с другими свойствами, с помощью малых целенаправленных продольных знакопеременных периодических воздействий, а также действия внешней поперечной нагрузки в противофазе.

Приложение продольной нагрузки приводит к смене типа колебаний механической системы, причем изменение может происходить как от хаотических колебаний к гармоническим (или к возникновению бифуркаций Андронова – Хопфа), так и наоборот, т.е. гармонических колебаний к хаосу. Таким образом, выводя систему из состояния хаоса при одних значениях нагрузки, можем получить хаотические колебания при других. Во втором случае мы добились снижения критических нагрузок для механической системы и уменьшения закритического прогиба. Также удалось снизить области хаотических колебаний, переведя их в гармонические.

ЛИТЕРАТУРА

1. Awrejcewicz J., Krysko V.A. Feigenbaum Scenario Exhibited by Thin Plate Dynamics // *Nonlinear Dynamics*. 2001. № 24. P.373-398.
2. Awrejcewier J., Krysko V., Krysko A. Spatial – Temporal Chaos and Solutions Exhibited by Von Karman Model // *International Journal of Bifurcations and Chaos*. 2002. Vol.12. № 7. P.1465-1513.
3. Awzejcewicz J., Krys'ko A.V. Analysis of complex parametric vibrations of plates and shells using Bubnov – Galerkin approach // *Archive of Applied Mathematics*. 2003. № 73. P.495-504.
4. Awrejcewicz J., Krysko V. Nonclassic Thermoelastic Problem in Nonlinear Dynamics of Shells. Springer – Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo, 2003. 430 p.
5. Awzejcewicz J., Krys'ko V.A., Vakakis A.F. Nonlinear Dynamics of Continuous Elastic Systems, Springer-Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo, 2004. 356 p.
6. Крысько В.А., Щекатурова Т.В. Хаотические колебания конических оболочек // *Известия РАН. Механика твердого тела*. 2004. № 3. С.18-24.
7. Krys'ko V.A., Awrejcewicz J., Bruk V.M. On the solution of a coupled thermo-mechanical problem for non-homogeneous Timoshenko-type shells // *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2003. № 273. P.409-416.
8. Krys'ko V.A., Awrejcewicz J., Bruk V.M. On existence and uniqueness of solutions to coupled thermomechanics problem of non-homogeneous isotropic plates // *J. Appl. Anal.* 2002. № 8(1). P.129-139.
9. Habler A.W., Luscher L. Resonant stimulation and control of nonlinear oscillations // *Naturwissenschaft*. 1989. Vol.79. P.67.

10. Jackson E.A. On the control of complex dynamic systems // Physica D. 1991. Vol.50. P.341-366.
11. Jackson E.A. The entrainment and migration Controls of multiple attractor Systems // Physica, Lett. A. 1990. Vol.151. P.478-484.
12. Ott E., Grelogi C., Yorke J.A. Controlling Chaos // Physica Rev. Lett, 1990. Vol.64. P.1196-1199.
13. Using small perturbations to control Chaos / T. Shinbrot, C. Grelogi, E. Ott, J.A. Yorke // Nature. 1993. Vol.363. P.411-417.
14. Singer J., Wang Y., Ban H. Controlling chaotic Systems // Physica, Rev. Let, 1991. Vol.66. P.1123.
15. Controlling chaos in the Belounsov – Zhalotinsky reaction / V. Petrov, V. Gaspar, J. Massere, K. Showalter // Nature. 1993. Vol.361. P.240.
16. Controlling chaos in the brain / S.F. Schiff, K. Jerder, D.H. Duong, et al. // Nature. 1994. Vol.370. P.615-620.
17. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем. М.: Физматгиз, 1963. 880 с.
18. Крысько В.А., Куцемако А.Н. Устойчивость и колебания неоднородных оболочек. Саратов: СГТУ, 1999. 202 с.
19. Крысько В.А., Савельева Н.Е. Статика и динамика замкнутых цилиндрических оболочек при неоднородном нагружении // Проблемы прочности материалов и конструкций на транспорте: Труды Междунар. конф. СПб., 2004. С.210-221.
20. Андреев Л.В., Ободан Н.И., Лебедев А.Г. Устойчивость оболочек при неосесимметричной деформации. М.: Наука, 1988. 208 с.
21. Крысько В.А., Савельева Н.Е. Сложные колебания замкнутых цилиндрических оболочек при неосесимметричном неравномерном знакопеременном внешнем давлении // Известия вузов. Машиностроение. 2004. № 7. С.3-14.

Крысько Вадим Анатольевич –

доктор технических наук, Соросовский профессор,
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
заведующий кафедрой «Высшая математика»
Саратовского государственного технического университета

Савельева Наталья Евгеньевна –

аспирант кафедры «Высшая математика»
Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3, 534.1

А.В. Талонов

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ЛОКАЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ СРЕДАХ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

*Предлагается в рамках метода асимптотического усреднения [2-4]
описать динамику изменения температурного поля в периодической струк-*

турно-неоднородной среде при изменении внешней температуры с учетом возможности локальных фазовых переходов.

A.V. Talonov

**THE MATHEMATICAL MODEL DESCRIPTION
OF THE LOCAL PHASE TRANSITIONS PROCESSES IN PERIODIC LAYERED
ENVIRONMENTS AT CHANGE OF EXTERNAL TEMPERATURE**

This article describes dynamics of a field change in periodic structurally non-uniform environment at change of external temperature considering the opportunity of local phase transitions within the framework of a method asymptotic averaging [2-4].

Введение

Большинство существующих в природе и искусственно созданных материалов характеризуются неоднородным составом. Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что свойства неоднородных материалов (например, горных пород, композиционных материалов) могут существенно отличаться от свойств отдельных компонентов, входящих в их состав. Физические свойства неоднородных материалов, помимо свойств отдельных компонентов, определяются составом и пространственной структурой, которую образуют отдельные компоненты.

Особенно сложным является поведение многокомпонентных и многофазных систем. Процесс воздействия на подобные среды представляет собой совокупность динамических процессов, происходящих на различных масштабных уровнях. Внешнее воздействие на неоднородные среды может сопровождаться изменением структуры материала и, как следствие, изменением его физических свойств.

В качестве примера можно привести изменение свойств грунтов при промерзании и оттаивании. Многочисленные эксперименты показывают, что под действием сезонных изменений температур в грунтах формируется своеобразная криогенная текстура и происходят резкие изменения физико-механических свойств, особенно в области интенсивных фазовых превращений воды [1].

Математическая модель

Рассмотрим полубесконечную среду, представляющую собой ряд периодически чередующихся слоев различной толщины. Слои располагаются параллельно свободной поверхности, а размер ячейки периодичности равен H , т.е. для всех параметров среды выполняется условие $R(x)=R(x+mH)$, $m=1,2,3,\dots$. Для заданной геометрии решим задачу о распространении тепла вглубь среды, если в момент времени $t=0$ температура на свободной поверхности меняется со временем $T_1(t)$. Распределение температуры в одномерной среде $T(x,t)$ будет определяться нестационарным уравнением теплопроводности:

$$\rho(x)c(x)\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x)\frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right) \quad (1)$$

с начальным условием

$$T(x,t)|_{t=0} = T_0, \quad x > 0. \quad (2)$$

Коэффициенты ρ , c , k , обозначающие плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности соответственно, изменяются от слоя к слою, периодически повторяясь в разных ячейках. В случае, когда $T_1(t) < \min\{T_1^*, \dots, T_m^*\}$, где T_i^* – температура плавления i -го слоя ($i=1, \dots, m$, m – число слоев в ячейке периодичности), уравнение (2) дополняется граничными условиями

$$T(x, t)|_{x=0} = T_1, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

$$[T(x, t)]|_G = 0, \quad (4)$$

$$\left[k(x) \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right]_G = 0. \quad (5)$$

Метод решения

Общая схема решения задачи (1)-(5) состоит в использовании асимптотического разложения. Асимптотику решения задачи (1)-(5) будем искать в виде ряда:

$$T(x, \xi, t) = T^{(0)}(x, \xi, t) + \varepsilon T^{(1)}(x, \xi, t) + \dots + \varepsilon^n T^{(n)}(x, \xi, t), \quad (6)$$

где ε – параметр, равный отношению размера ячейки периодичности H к характерному размеру задачи ($\varepsilon \ll 1$), а $\xi = x/\varepsilon$ – «быстрая переменная», которая в пределах каждой ячейки изменяется от 0 до H , делая зависимость $T^{(n)}(x, \xi, t)$, $n=0, 1, 2, \dots$ периодической с периодом H .

Подставим разложение (6) в исходное уравнение (1), предварительно осуществив переход к переменным (x, ξ, t) . Тогда, учитывая правило дифференцирования сложной функции и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях ε , получим:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial \xi} \right) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial \xi} \right) = 0 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(2)}}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial \xi} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial \xi} \right) - \rho(x) c(x) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(n+2)}}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(n+1)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(n+1)}}{\partial \xi} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\xi) \frac{\partial T^{(n)}}{\partial \xi} \right) - \rho(x) c(x) \frac{\partial T^{(n)}}{\partial t} = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\rho(\xi)$, $c(\xi)$, $k(\xi)$ – периодические функции с периодом H .

Подстановка разложения (6) в начальное и граничное условия после приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях ε дает:

$$T^{(n)}(x, \xi, 0) = \begin{cases} T_0, n = 0 \\ 0, n \geq 1 \end{cases}, \quad x > 0$$

$$T^{(n)}(0, \xi, t) = \begin{cases} T_1, n = 0 \\ 0, n \geq 1 \end{cases}, \quad t \geq 0$$

$$[T^{(n)}](x, \xi, t)|_G = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\left[k(x) \frac{\partial T^{(n)}(x, \xi, t)}{\partial x} \right] \Big|_G = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Считая формально x и ξ независимыми переменными, можно рассматривать соотношения (7)-(10) как рекуррентную цепочку дифференциальных по ξ \square уравнений с неизвестной функцией $T^{(i)}(x, \xi, t)$, $i=0, 1, 2, \dots, n$ и соответствующими начальными и граничными условиями. При этом x считается параметром уравнений (7)-(10).

Поскольку функции $T^{(i)}(x, \xi, t)$, $i=0, 1, 2, \dots, n$ являются периодическими по ξ , то, как это было показано в [2], интегрирование уравнения (7) по быстрой переменной с последующим усреднением по периоду дает независимость $T^{(0)}(x, \xi, t)$ от ξ , т.е.

$$T^{(0)}(x, \xi, t) = v_0(x, t). \tag{11}$$

Используя при интегрировании уравнения (8) условие независимости $T^{(0)}(x, \xi, t)$ от ξ , можно показать, что второй член в разложении (6) записывается в виде:

$$T^{(1)}(x, \xi, t) = N_1(\xi) \frac{\partial v_0(x, t)}{\partial x}, \quad N_1(\xi) = \int_0^\xi (\mathcal{K}/k(\eta) - 1) d\eta, \tag{12}$$

где $\mathcal{K} = \langle 1/k(\xi) \rangle^{-1}$ – среднее гармоническое функции $k(\xi)$.

Применение оператора усреднения к соотношению (9) с учетом периодичности функций $T^{(1)}(x, \xi, t)$, $T^{(2)}(x, \xi, t)$ и $k(\xi)$ по ξ с периодом H , а также с учетом (11)-(12) дает нам для определения $v_0(x, t)$ усредненное уравнение

$$\chi \frac{\partial^2 v_0(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial v_0(x, t)}{\partial t} \tag{13}$$

с эффективным коэффициентом температуропроводности $\chi = \mathcal{K}/\langle \rho c \rangle$, начальными и граничными условиями: $v_0(x, 0) = T_0$, $x > 0$; $v_0(0, t) = T_1(t)$, $t > 0$; $[V_0(x, t)]|_G = 0$.

Обратимся теперь к случаю, когда температура $T_1(t)$ – заданная температура на свободной поверхности – превышает температуру плавления какого-либо из слоев, например, первого ($T_1 > T_1^*$), и в среде становятся возможными фазовые переходы. Существенной чертой таких задач является наличие движущейся поверхности раздела (фронта) между различными фазами. Описание продвижения фронта плавления – довольно сложная нелинейная задача, точные решения которой имеются только для нескольких частных случаев распространения фронта плавления (затвердевания) в однородных телах. Наличие же в среде неоднородностей существенно усложняет проблему.

Будем рассматривать плавление как мгновенный процесс. В рамках такого подхода граница раздела фаз представляет собой движущуюся поверхность. В этом случае исходная задача (1) помимо условий (2)-(5) будет иметь дополнительные граничные условия, заданные на фронте плавления. Первое из этих условий следует из неизменности температуры на границе фазового перехода

$$T(x, t) \Big|_{x = x_f(t)} = T_1^*, \tag{14}$$

а второе является уравнением теплового баланса

$$\left[k(x) \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right] \Big|_{x=x_f(t)} = \rho(x_f) \lambda(x_f) \frac{d x_f}{d t} , \quad (15)$$

где λ – удельная теплота плавления; $x_f(t)$ – координата фронта плавления, закон изменения которой определяется в ходе решения задачи.

Из уравнения (14) формально следует, что «фронт плавления» может распространяться в средах, где не происходит фазового перехода. В этом случае в уравнении (15) для таких сред нужно считать $\lambda=0$, и данное уравнение переходит в соответствующее условие (5). Следуя методу асимптотического усреднения, решение поставленной задачи снова будем искать в виде ряда (6). Подстановка этого разложения в (1) дает нам для определения $T^{(n)}(x, \xi, t)$, $n=0,1,2,\dots$ уже известную систему уравнений (7)-(10). Граничные и начальные условия в нулевом приближении имеют вид:

$$\begin{aligned} T^{(0)}(x, \xi, 0) &= T_0 , \quad x > 0, \\ T^{(0)}(0, \xi, t) &= T_1 , \quad t \geq 0, \\ T^{(0)}(x, \xi, t) \Big|_{\substack{x=x_f(t) \\ \xi=\xi_f(t)}} &= T_1^*, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\left[k(\xi) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial \xi} \right] \Big|_{\xi=\xi_f(t)} = 0,$$

а в первом приближении соответственно:

$$\begin{aligned} T^{(1)}(x, \xi, 0) &= 0 , \quad x > 0, \\ T^{(1)}(0, \xi, t) &= 0 , \quad t \geq 0 \\ T^{(1)}(x, \xi, t) \Big|_{\substack{x=x_f(t) \\ \xi=\xi_f(t)}} &= 0, \end{aligned} \quad \left[k(x) \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right] \Big|_G = 0 , \quad (17)$$

$$\left[k(\xi) \left(\frac{\partial T^{(0)}}{\partial x} + \frac{\partial T^{(1)}}{\partial \xi} \right) \right] \Big|_{\xi=\xi_f(t)} = \lambda(\xi_f) \rho(\xi_f) \frac{d x_f}{d t} . \quad (18)$$

Следует отметить, что переход к координатам x и ξ приводит к необходимости формального введения закона изменения во времени положения фронта плавления в ячейке $\xi_f(t)$.

В работе [4] было доказано, что так же, как и в случае отсутствия процессов плавления, нулевая поправка $T^{(0)}$ не зависит от «быстрой» переменной и имеет вид:

$$T^{(0)}(x, \xi, t) = v_0(x, t) . \quad (19)$$

Для того чтобы найти первую поправку к решению $T^{(1)}(x, \xi, t)$, подставим (19) в (8) и получим уравнение

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(k(\xi) \left(\frac{\partial T^{(1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial x} \right) \right) = 0 ,$$

решение которого ищется в виде

$$T^{(1)}(x, \xi, t) = \begin{cases} N_1^-(\xi) \frac{\partial v_0}{\partial x} + C_1(x, t), & 0 \leq x \leq x_f(t) \\ N_1^+(\xi) \frac{\partial v_0}{\partial x} + C_2(x, t), & x > x_f(t), \end{cases} \quad (20)$$

где $N_1^-(\xi) = \int_0^\xi \left(\langle 1/k_- \rangle^{-1} / k_-(\eta) - 1 \right) d\eta$, $N_1^+(\xi) = \int_\xi^H \left(\langle 1/k_+ \rangle^{-1} / k_+(\eta) - 1 \right) d\eta$.

Здесь при определении функций $N_1^-(\xi)$ и $N_1^+(\xi)$ было использовано то условие, что среда перед фронтом плавления сохраняет периодичность, а в процессе фазового перехода за фронтом также формируется периодическая среда, хотя уже с другими свойствами.

Подстановка соотношения (19) в граничное условие (18) дает для определения закона движения фронта плавления следующее уравнение:

$$\left. \langle 1/k_+ \rangle^{-1} \frac{\partial v_0}{\partial x} \right|_{x=x_f+0} - \left. \langle 1/k_- \rangle^{-1} \frac{\partial v_0}{\partial x} \right|_{x=x_f-0} = \langle \lambda \rho \rangle \frac{d x_f}{d t} . \quad (21)$$

Поскольку функция $v_0(x,t)$, являясь нулевой поправкой к решению, описывает усредненную среду, то в данном уравнении плавление рассматривается как непрерывный процесс, происходящий в среде с усредненными свойствами.

Подстановка (20) в уравнение (9) после интегрирования по ξ дает:

$$k_-(\xi) \frac{\partial T^{(2)}}{\partial \xi} = \int \left(\rho_- c_- \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t} - \langle 1/k_- \rangle^{-1} \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} \right) d\xi -$$

$$- k_- \frac{\partial C_1(x,t)}{\partial x} - k_- N_1^-(\xi) \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} + D(x,t),$$

при $0 \leq x \leq x_f(t)$ (22)

$$k_+(\xi) \frac{\partial T^{(2)}}{\partial \xi} = \int \left(\rho_+ c_+ \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t} - \langle 1/k_+ \rangle^{-1} \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} \right) d\xi -$$

$$- k_+ \frac{\partial C_2(x,t)}{\partial x} - k_+ N_1^+(\xi) \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} + D(x,t),$$

при $x > x_f(t)$.

В ячейках перед фронтом плавления среду можно считать периодической и, значит, можно пользоваться процедурой усреднения, подобно тому, как это делалось нами при выводе уравнения (13). За фронтом плавления также формируется периодическая среда. Для того чтобы в пределе при переходе к периодической среде без фронта мы снова получали соотношение (13), необходимо выполнение равенства

$$\left\langle k_{+,-} \left(\frac{\partial T^{(2)}}{\partial \xi} + N_1^{+,-}(\xi) \frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + \frac{\partial C_{1,2}}{\partial x} \right) - D(x,t) \right\rangle = 0 , \quad (23)$$

и тогда усреднение выражений (22) даст нам

$$\langle \rho_- c_- \rangle \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t} - \langle 1/k_- \rangle^{-1} \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} = 0 , \quad 0 \leq x \leq x_f(t) ,$$

$$\langle \rho_+ c_+ \rangle \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t} - \langle 1/k_+ \rangle^{-1} \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} = 0 , \quad x > x_f(t) .$$

Тогда равенство (23) служит дополнительным условием для определения второй поправки $T^{(2)}$ до и после фронта плавления.

Обозначая

$$\chi_1 = \frac{\langle 1/k_- \rangle^{-1}}{\langle \rho_- c_- \rangle} , \quad \chi_2 = \frac{\langle 1/k_+ \rangle^{-1}}{\langle \rho_+ c_+ \rangle} ,$$

получим для определения $v_0(x,t)$ задачу вида

$$\begin{aligned} \chi_1 \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} &= \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t}, \quad 0 \leq x \leq x_f(t), \\ \chi_2 \frac{\partial^2 v_0(x,t)}{\partial x^2} &= \frac{\partial v_0(x,t)}{\partial t}, \quad x > x_f(t) \end{aligned} \quad (24)$$

с граничным условием (21) и условиями

$$\begin{aligned} v_0(x,0) &= T_0, \quad x > 0, \\ v_0(0,t) &= T_1, \quad t \geq 0, \\ v_0(x,t)|_{x=x_f(t)} &= 0, \end{aligned} \quad (25)$$

полученными в результате подстановки (24) в первые три выражения из (16).

Задача (24) с условиями (21) и (25) является аналогом задачи Стефана [1] и ее решение имеет вид:

$$v_0(x,t) = \begin{cases} T_1 + (T_1^* - T_1) \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{x/2\sqrt{\chi_1 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_1 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right)}, & 0 \leq x \leq x_f(t) \\ T_0 + (T_1^* - T_0) \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{x/2\sqrt{\chi_2 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right) - 1}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_2 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right) - 1}, & x > x_f(t) \end{cases} \quad (26)$$

Граничное условие (21) с учетом (26) дает нам для определения функции $\alpha(t)$ уравнение

$$\sqrt{\chi_2} \langle \rho_+ c_+ \rangle (T_1^* - T_0) \frac{\exp(-\alpha^2/4\chi_2)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right) - 1} - \sqrt{\chi_1} \langle \rho_- c_- \rangle (T_1^* - T_1) \frac{\exp(-\alpha^2/4\chi_1)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right) - 1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \alpha \langle \lambda \rho \rangle, \quad (27)$$

которое может быть решено численно.

Для того чтобы получить первую поправку $T^{(1)}(x, \xi, t)$, подставим (26) в выражения (20) и, пользуясь условием (16), получим при переходе к фронту слева

$$T^{(1)}|_{x=x_f-0} = \frac{T_1^* - T_1}{\sqrt{\chi_1} \pi t} \frac{\exp(-x_f^2/4\chi_1 t)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_1 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right)} \int_0^{\xi_f} \left(\frac{\langle 1/k_- \rangle^{-1}}{k_-(\eta)} - 1 \right) d\eta + C_1(x_f - 0, t) = 0$$

и аналогично справа

$$T^{(1)}|_{x=x_f+0} = \frac{T_1^* - T_0}{\sqrt{\chi_2} \pi t} \frac{\exp(-x_f^2/4\chi_2 t)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_2 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right)} \int_{\xi_f}^H \left(\frac{\langle 1/k_+ \rangle^{-1}}{k_+(\eta)} - 1 \right) d\eta + C_2(x_f + 0, t) = 0.$$

Из двух последних уравнений легко можно выразить C_1 и C_2 в той точке, где находится фронт. Но, поскольку $x_f(t)$ может пробегать все возможные значения x , то полученные таким образом выражения для $C_1(x_f, t)$ и $C_2(x_f, t)$ должны быть справедливыми и для любых x . Используя данное условие в выражении (26), распределение температуры в периодической среде с учетом первой поправки в разложении (6) записывается в виде:

$$T(x,t) = \begin{cases} T_1 + \frac{T_1^* - T_1}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_1 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right)} \left\{ \frac{\exp(-x^2/4\chi_1 t)}{\sqrt{\chi_1} \pi t} \int_x^{x_f} \left(1 - \frac{\langle 1/k_- \rangle^{-1}}{k_-(\eta)} \right) d\eta + \operatorname{erf}\left(\frac{x/2\sqrt{\chi_1 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_1}}\right) \right\}, & 0 \leq x \leq x_f \\ T_0 + \frac{T_1^* - T_0}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha/2\sqrt{\chi_2 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right) - 1} \left\{ \frac{\exp(-x^2/4\chi_2 t)}{\sqrt{\chi_2} \pi t} \int_{x_f}^x \left(1 - \frac{\langle 1/k_+ \rangle^{-1}}{k_+(\eta)} \right) d\eta - 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x/2\sqrt{\chi_2 t}}{\alpha/2\sqrt{\chi_2}}\right) \right\}, & x > x_f, \end{cases} \quad (28)$$

где $T_1(t)$ – заданная температура на свободной поверхности.

Выводы

Анализ выражений (27), (28) показывает, что локальные процессы плавления чувствительны к характеру изменения температуры плавления. Так, оценка изменения положения фронта плавления в мерзлых грунтах под действием периодических (сезонных) изменений поверхностной температуры с амплитудой до 10°C показывает незначительные изменения структуры в процессе локального плавления в слоистой среде грунт-лед.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы геокриологии (мерзлотоведения). М.: АН СССР, 1959. 458 с.
2. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984. 352 с.
3. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: МГУ, 1984. 336 с.
4. Власов А.Н., Саваторова В.Л., Талонов А.В. Использование метода асимптотического усреднения для решения задач теплопроводности с фазовыми переходами // Журнал прикладной математики и технической физики. 1995. Т.36. № 5. С.154-163.

Талонов Анатолий Владимирович –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика сплошной среды»
Московского государственного инженерно-физического института
(технического университета), докторант

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 621.865

Р.Н. Абуталипов, А.В. Кочетков, В.И. Ермолаев

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

Приводятся результаты анализа компоновок технологических роботов и манипуляторов поверхностной обработки на примере установки для плазменных напылений, а также методы определения координатной сетки программирования перемещения контрольных точек манипулятора и ориентирующей степени свободы.

R.N. Abutalipov, A.V. Kochetkov, V.I Jermolaev

THE PRINCIPLES OF A DESIGN & PROJECT DEVELOPMENT AND PROGRAMMING OF SURFACIAL ROBO-TECHNICAL COMPLEX PROSESSING

We've got here analysis results of a certain technological processes and manipulators of surface treatments on the example of a device for plasma dust coating and determination methods of coordinating net of programming of the controlling points of the manipulator and orienting degree of freedom.

Для анализа погрешностей роботов для поверхностной обработки автором предложены основные схемные и конструктивные решения манипуляторов, представленные на рис. 1.

В качестве основных принимаются схемы 1Пз 2Пу, 1Пз 2Пу 3Вх, 1Вх 2Вх 3Вх, 1Вх 2Пу 3Вх, где П и В – приводы поступательных и вращательных движений, x, y, z – горизонтальные и вертикальная оси системы координат установки плазменного напыления. Авторы предлагают, что задача комплексирования может быть поставлена и решена путем введения инклинометра (прибора измерения отклонения от горизонтали) на ориентирующую степень свободы. В этом случае погрешности отработки угловых перемещений звеньев ангулярного манипулятора будут частично компенсированы за счет информации с выхода инклинометра в реальном времени. Это может быть достигнуто либо путем усреднения угловой информации о положении оси рабочего органа, либо путем замены суммарной информации с датчиков поворота звеньев на информацию с выхода инклинометра. При этом управление положением точки качания рабочего органа выделяется в самостоятельный контур. Регулирование угловой ориентацией оси рабочего органа будет происходить с учетом координаты точки качания в реальном времени и информации с выхода инклинометра.

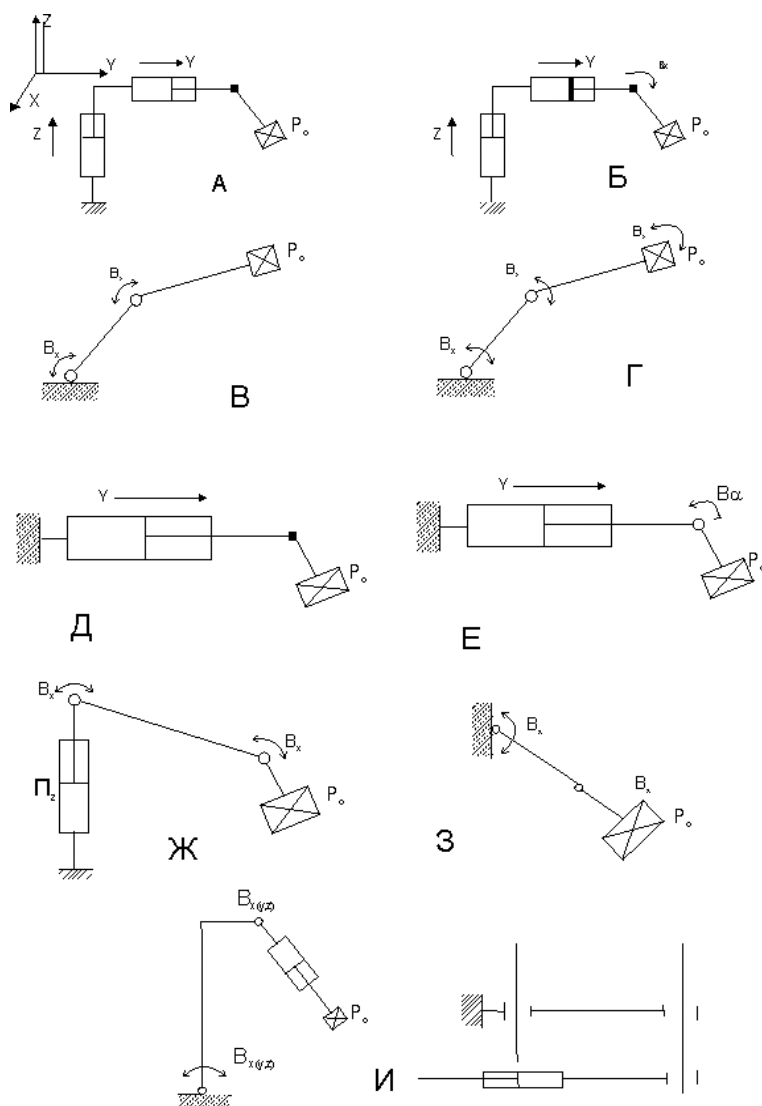


Рис. 1. Компонки манипуляторов роботов для поверхностной обработки

Вместе с тем с учетом проведенного анализа эллипсоидов рассеивания погрешностей робота для ангулярной компоновки и вывода о пропорциональном увеличении в зависимости от длины звена рекомендуется использовать слабозависящую от изменения эллипсоидов рассеивания прямоугольную компоновку манипулятора робота.

Другие схемные решения не прошли предварительного анализа по причинам сложности и проблемности встраивания в ограничения рабочей зоны, обусловленных электромагнитным излучением и конструктивными размерами установки, необходимостью встраивания дополнительного средства измерения. Ранее по результатам исследований было получено, что размеры рабочей зоны для перемещений манипулятора робота ограничены размерами 400×500×1000 мм. Также одним из условий реализации процесса поверхностной обработки является возможность обеспечения кинематического замыкания между скоростями углового перемещения рабочего органа в обобщенной системе координат заготовки и скоростью вращения заготовки.

Определим необходимость введения дополнительной третьей степени свободы для ориентации рабочего органа по нормали к поверхности заготовки для обеспечения физики процесса поверхностной обработки.

При контурном управлении типичной является задача определения законов изменения обобщенных координат для заданной траектории перемещения рабочего органа. Задание тра-

ектории характерно для кругообразных движений, когда рабочим органом является сопло плазмотрона или краскораспылитель. Во всех случаях важна ориентация рабочего органа. Его ось должна быть перпендикулярна касательной плоскости к участку обрабатываемой поверхности. Во всех случаях траектории задаются не для условно выбранного центра рабочего органа, а для вполне определенной точки, связанной с рабочим органом. Например, центр рабочего органа и указанная специально выбранная точка могут перемещаться по разным окружностям по конусу. В принципе ось рабочего органа может совершать более сложные движения.

Формы задания законов изменения координат центра рабочего органа и углов ориентации могут быть различными. Наиболее удобна параметрическая форма, когда координаты и углы задаются в виде функции параметра s , изменяющегося в определенных пределах

$$X = X(s), \quad Y = Y(s), \quad Z = Z(s),$$

$$Q_x = Q_x(s), \quad Q_y = Q_y(s), \quad Q_z = Q_z(s), \quad S = S(t).$$

Однако, если в устройствах управления используются современные средства вычислительной техники, могут быть использованы другие способы задания. Например, может быть записана система уравнений, численно решая которую, можно получить значения координат и углов. Так определяются траектории известного вида (прямые, окружности, параболы различных степеней), проходящие через заданные точки. Такой способ называется аналитическим. Требуется, чтобы основание робота и технологическое оборудование были точно привязаны к одной и той же системе координат. Это относится и к обрабатываемой детали.

Способ программирования, при котором рабочий или оператор вручную ведет рабочий орган по той траектории, по которой считает нужным, а дискретные точки запоминаются в памяти устройства управления с тем, чтобы при автоматической работе повторять движения по траекториям, проходящим через запомненные точки, относится к программируемым способам обучения. Этот способ может оказаться либо единственно возможным, либо наиболее удобным. В промежутках между точками, запомненными в устройстве управления, осуществляется интерполяция – приближенное представление участков траектории прямыми или дугами окружностей.

При изготовлении мелкосерийных и единичных изделий методом плазменного напыления во многих случаях отсутствуют справочные данные о параметрах технологического процесса, часто нет возможности в проведении полных экспериментальных исследований. Эффективность и качество обработки зависят от опыта рабочего.

Чтобы обеспечить высокое качество изготавливаемых деталей, роботы для плазменных напылений должны иметь достаточно сложные кинематические схемы манипуляторов с оптимальными параметрами, расширенные возможности устройств числового программного управления, развитое программное обеспечение. Они должны быть перенастраиваемыми, приспособленными к особенностям мелкосерийного производства.

Один из подходов к обоснованному выбору схем и компоновок манипуляторов, выполняющих требуемые технологией движения, основан на аналогии с движениями руки человека. При технической реализации указанные аналогии могут быть распространены на системы и способы контроля и управления. Они должны обладать свойствами гибкости и слабой чувствительности к различным влияющим факторам и параметрам различной природы. Робот представляется как единое целое, как автоматическая машина определенного функционального назначения и с определенными техническими характеристиками, с реализацией модульного принципа построения и обеспечением аналитического программирования системы управления робота.

С учетом проведенного анализа и разделения задачи движения контрольной точки по требуемой траектории и задачи ориентации оси рабочего органа по нормали к поверхности заготовки необходимо переходить к такой системе координат, чтобы каждая координата соответствовала выделенной самостоятельной задаче. Это позволяет реализовать идеи автоно-

мизации управления – функционального разделения каналов управления. Геометрически это связано с выбором специальных систем координат (рис. 2).

Каждая из линий первого семейства строится как совокупность нормалей контура заготовки. Каждая из линий второго семейства строится как совокупность равноотстоящих от контура заготовки и друг от друга изолиний. Формируемая координатная сетка является параметрической по координатам угла и перемещения относительно расчетной траектории. Ее характеристики позволяют формировать управляющую программу в соответствии с кинематикой рабочего органа.

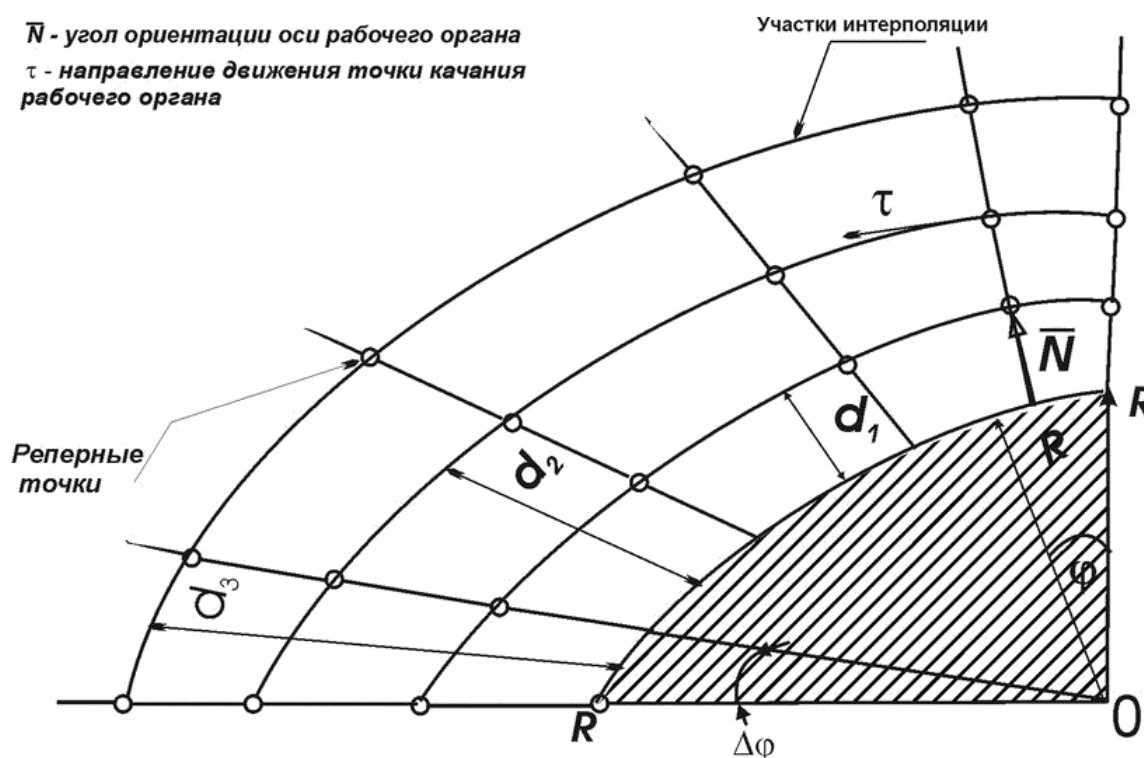


Рис. 2. Построение координатной сетки для заготовки с радиусом R

При использовании координатной сетки имеется две возможности формирования управляющей программы при координатном управлении.

1. В абсолютных значениях (φ , l_1 , l_2) угла наклона нормали и координат приводов двух звеньев, реализующих требуемые перемещения контрольной точки качания рабочего органа.
2. В приращениях указанных перемещений.

Указанный подход позволяет сформировать требуемые системные свойства роботов для поверхностной обработки: приспособляемость к новым условиям применения и изменения рабочего органа и технологии обработки, слабая зависимость от влияния возмущающих факторов и параметров различной природы, хорошая наблюдаемость (высокая степень достоверности информации о входных, функциональных и выходных параметрах, управляемость (в том числе в режимах обучения, отслеживания, воспроизведения, при выборе способов управления и коррекции).

Авторами предложены следующие принципы отбора компоновочных решений манипуляторов роботов для поверхностной обработки: однорукая компоновка манипулятора робота, совмещенная с механизмом вращения заготовки, разделения между механизмами манипулятора функций движения точки качания рабочего органа и функции его ориентирования, многофункциональности, слабой зависимости схемы и компоновки манипулятора по

отношению к задаваемым диапазонам изменения параметров заготовок, многофункциональности и приспособляемости к новым условиям применения, независимости контуров управления рук робота, возможность аналитического программирования по результатам измерения первой заготовки.

По смыслу задачи управления формообразованием относятся к задачам терминального управления, поскольку в конечном итоге важно знать конечное состояние детали. Поэтому программы управления принципиально не могут быть выбраны однозначно, при этом нужно удовлетворять большому числу ограничений, учитывать возможности реальных регуляторов и приводов исполнительных устройств, возможности измерения различных параметров состояния. При построении алгоритмов управления учитывают, что параметры технологического процесса задаются в системах координат заготовок, а непосредственно управляемыми являются другие величины (обобщенные координаты для приводов). При аналитическом программировании необходимо преобразование координат от параметров заготовки к осям элементов исполнительных механизмов.

В качестве основного принимается координатное управление роботом. Используемая совокупность методических метрологических и программных решений позволяет осуществить очувствление робота для поверхностной обработки, вывести человека из основного контура управления, оставить ему функции принятия обобщающих решений.

Общий анализ проблематики, вызванной особенностями технологии плазменного напыления или аналогичных технологических процессов, анализ конструкторско-технологических ограничений, обусловленных влиянием пространственного распределения электромагнитного излучения, определил, что наиболее близким техническим решением, удовлетворяющим указанным ограничениям, является компоновка технологического робота в прямоугольной системе координат вида 1Pz 2Py 3Vx. Достоинством компоновки является возможность сохранения угла наклона ориентирующей степени свободы при ориентации рабочего органа относительно систем координат робота и установки плазменного напыления (заготовки).

Использование вращательных степеней свободы вызвало серьезные трудности в обеспечении управляемости роботом при отслеживании требуемой траектории движения и, особенно, ориентации рабочего органа. Помимо этого недостатком ангулярной компоновки является пропорциональность увеличения эллипсоида рассеяния погрешности при увеличении размеров звеньев. Несколько проще становится решение задач статики и динамики.

В практике отечественного и зарубежного машиностроения широко известен класс технологических машин для измерительных операций – координатно-измерительных машин. Известны, например, КИМ типа «Поли» (Италия), отечественная ДКМ-902 (НИТИ, г. Саратов) и другие. Целый класс координатно-измерительных машин имеют расширенные функциональные возможности и могут, например, производить поверхностную механическую обработку, в частности фрезеровать сканированные изображения на предметах различной формы.

Авторами предлагается концепция представления робота технологического комплекса для поверхностной обработки как функционального аналога координатно-измерительной машины. В качестве рабочего органа предлагается использовать измерительные головки касания. В рамках концепции имеется возможность использования нулевых головок отклонения и головок касания с собственной системой координат.

Предлагается использовать типовые режимы привязки средства измерения к координатам технологического комплекса, а именно, к оси вращения заготовки. На следующем этапе имеется возможность определить координаты поверхности обрабатываемой заготовки путем контактного сканирования поверхности заготовки и вычисления ее размеров в контрольных сечениях. Данная измерительная процедура может проводиться как в ручном, так и в автоматическом режимах. В качестве дополнительного режима предлагается ввести метод

испытания технологического робота на основе привязки к контрольному объекту заданной, например сферической или цилиндрической формы.

С учетом предлагаемой концепции способ привязки робота технологического комплекса для поверхностной обработки заключается в том, что в схват робота устанавливают измерительную головку таким образом, чтобы ось головки совпадала бы с осью схвата и осью рабочего органа, далее осуществляют привязку измерительной головки с координатами робота путем перемещения приводов робота в назначаемые крайние положения, далее производят привязку к системе координат технологического комплекса, совпадающей с системой координат вращающейся обрабатываемой заготовки, при этом привязку осуществляют путем перемещения щупа измерительной головки до касания с вращающейся деталью и медленного перемещения щупа от заготовки, в момент прекращения контакта с заготовкой регистрируют координату заготовки в системе координат робота, после чего повторяют процедуру с обратной стороны вращающейся заготовки. По среднему значению между измеренными координатами прекращения контакта определяют координату оси вращения заготовки в проекции перемещения робота. Далее в сканирующем режиме производят последовательное медленное ощупывание поверхности вращающейся заготовки с запоминанием координат контактов.

Путем расчета определяют верхнюю и нижнюю точки заготовки и определяют параметры формул пересчета от координат детали к координатам робота (рис. 3).

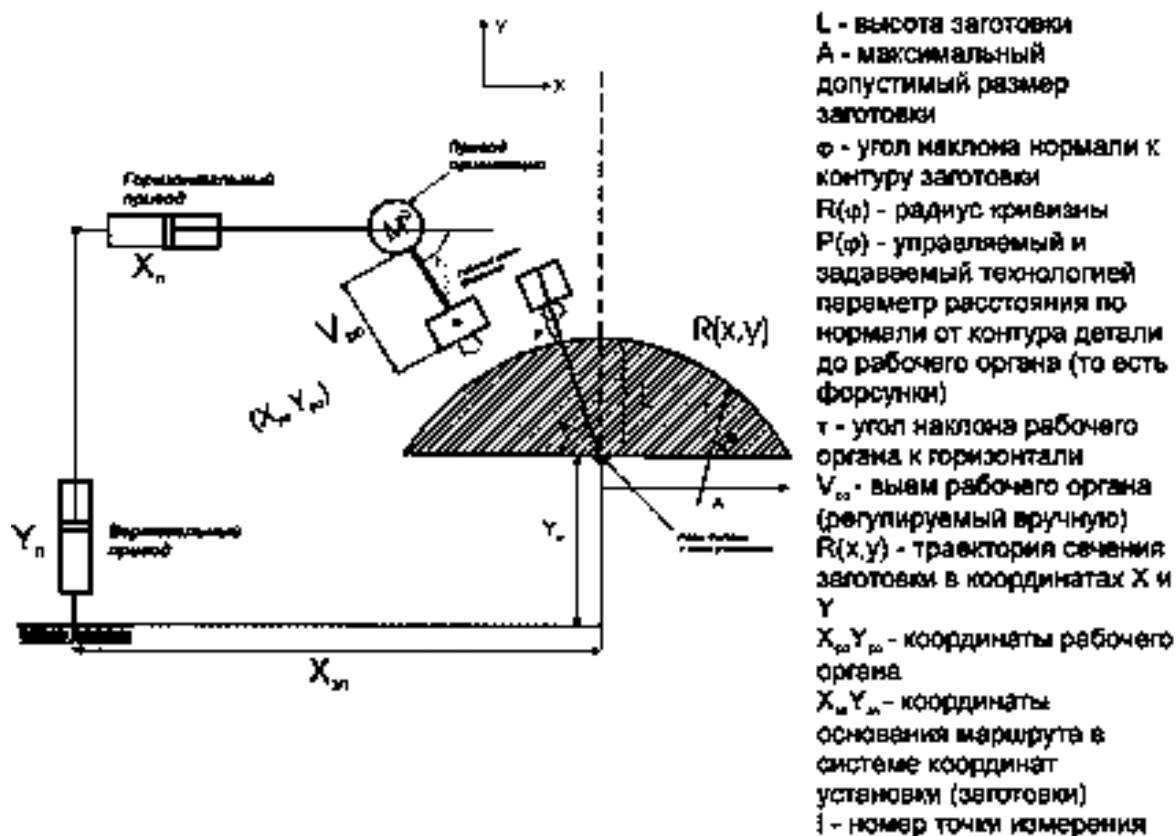


Рис. 3. Схема расчета перемещений рабочего органа робота для поверхностной обработки

Определяют обобщенную систему координат в виде совокупности сетки нормалей к контуру заготовки и сетки кривых, точки каждой из которой равноудалены от поверхности контура заготовки.

При задании кривой второго порядка общее уравнение второй степени относительно декартовых прямоугольных координат x и y имеет вид

$$A_{11}X^2 + 2 A_{12}XY + A_{22}Y^2 + 2A_{13}X + 2A_{23}Y + A_{33} = 0 .$$

Тогда уравнение нормали в точке (X_1, Y_1) имеет вид

$$(X - X_1) / (A_{11}X_1 + A_{12}Y_1 + A_{13}) = (Y - Y_1) / (A_{21}X_1 + A_{22}Y_1 + A_{23})$$

и параметры $A_{11}, A_{12}, A_{22}, A_{13}, A_{23}, A_{33}$ могут быть найдены численными методами с помощью стандартных программ математического обеспечения персональных компьютеров.

Абуталипов Ренат Надельшаевич –

аспирант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

Кочетков Андрей Викторович –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

Ермолаев Вячеслав Иванович –

кандидат технических наук, ассистент кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 629.113.012:681.14-523.8.001.5

И.И. Любимов

ДИНАМИКА КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ АВТОМОБИЛЯ

Рассматривается аналитический метод определения колесной нагрузки при установившихся гармонических колебаниях автомобиля. Приводятся графики динамики колесной нагрузки в режиме высокочастотного резонанса и частотные характеристики стабильности силового контакта колес легкового автомобиля с дорогой при различной интенсивности демпфирования.

I.I. Lyubimov

DYNAMICS OF WHEEL LOADING AT FLUCTUATIONS OF THE AUTOMOBILE

The analytical method of definition of wheel loading is considered at established harmonic fluctuations of the automobile. The diagrams of dynamics of wheel loading in a mode of a high-frequency resonance and frequency the characteristics of stability of power contact of wheels of the car with a road are resulted at various intensity of damping.

При колебаниях автомобиля вертикальная нагрузка, передаваемая его колесами на дорогу, непрерывно изменяется, возрастая по сравнению с величиной статической колесной нагрузки, на ходе сжатия и снижаясь – при отбое. С изменением вертикальной нагрузки продольные и боковые силы, которые могут быть реализованы на колесах автомобиля, также изменяются, вызывая ухудшение эксплуатационных качеств автомобиля (управляемости, тормозной динамики и др.) и увеличивая динамическую нагруженность трансмиссии, двигателя и шин. Поэтому, наряду с комфортабельностью, стабильность колесной нагрузки является показателем совершенства системы поддрессоривания. Имеющиеся публикации по вопросу динамики колесной нагрузки автомобиля [1,2,3] весьма ограничены и посвящены, главным образом, экспериментальным методам оценки стабильности силового контакта колес с дорогой при стендовых испытаниях, в ходе которых регистрируются изменение динамической реакции в зоне контакта колеса с виброплощадкой стенда, через которую осуществляется возбуждение колебаний автомобиля, либо – изменение радиальной деформации шины или величины вертикального ускорения неподдрессоренной массы, являющихся косвенными показателями стабильности колесной нагрузки.

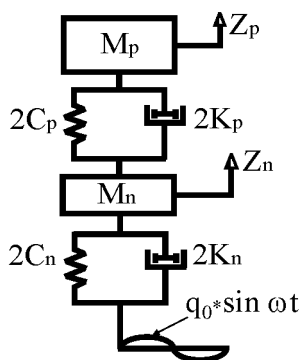


Рис. 1. Расчетная схема подвески

В представленной работе рассматривается аналитический способ определения динамики колесной нагрузки и ее стабильности при установившихся гармонических колебаниях автомобиля. В качестве расчетной схемы использовалась традиционная двухмассовая линейная динамическая модель подвески (рис. 1), к которой обычно прибегают при исследовании колебаний автомобиля, включающая поддрессоренные и неподдрессоренные массы M_p и M_n , упругие элементы подвески с жесткостью C_p , амортизаторы с коэффициентом сопротивления K_p и шины, чьи упругие свойства характеризуются жесткостью C_n , а их способность гасить колебания автомобиля – коэффициентом сопротивления K_n . Вертикальные перемещения, которые в процессе колебаний автомобиля совершают его поддрессоренные массы (кузов) и неподдрессоренные (мосты с колесами), описываются координатами Z_p и Z_n , отсчитываемыми от положения статического равновесия.

Колебания возбуждаются заданием опорной точки перемещения $q=q_0 \cdot \sin \omega t$, что соответствует колебаниям автомобиля, движущегося с постоянной скоростью по дороге синусоидального микропрофиля. При кинематическом возбуждении колебаний, вызываемых периодическими импульсами от неровностей дороги, уравнения движения масс M_p и M_n эквивалентной колебательной системы имеют вид:

$$\begin{aligned} M_p \cdot \ddot{Z}_p + C_p \cdot (Z_p - Z_n) + K_p \cdot (\dot{Z}_p - \dot{Z}_n) &= 0 ; \\ M_n \cdot \ddot{Z}_n - C_p \cdot (Z_p - Z_n) - K_p \cdot (\dot{Z}_p - \dot{Z}_n) + C_n \cdot (Z_n - q) + K_n \cdot (\dot{Z}_n - \dot{q}) &= 0 . \end{aligned} \quad (1)$$

После преобразований, связанных с переходом от кинематического к эквивалентному силовому возбуждению колебаний, получаем

$$\begin{aligned} M_p \cdot \ddot{Z}_p + C_p \cdot (Z_p - Z_n) + K_p \cdot (\dot{Z}_p - \dot{Z}_n) &= 0 ; \\ M_n \cdot \ddot{Z}_n - C_p \cdot (Z_p - Z_n) - K_p \cdot (\dot{Z}_p - \dot{Z}_n) + C_n \cdot Z_n + K_n \cdot \dot{Z}_n &= F_e \cdot \sin(\omega t + f_e) , \end{aligned} \quad (2)$$

где F_e, f_e – модуль и фазовый угол эквивалентной возмущающей силы, обусловленные упругодемпфирующими свойствами шин:

$$F_e = q_0 \cdot \sqrt{C_n^2 + K_n^2 \cdot \omega^2} ; \quad f_e = \arctan(K_n \cdot \omega / C_n) . \quad (3)$$

В процессе колебаний автомобиля вертикальную нагрузку N , передаваемую колесами на дорогу, образуют статическая (весовая) колесная нагрузка $G a_k = (M_{pk} + M_{nk}) \cdot g$ и переменная по величине и направлению нагрузка \tilde{N} , создаваемая упругим элементом подвески и амортизатором. Так как в линейной подвеске вертикальная реакция дороги на колесо пропорциональна радиальной деформации шины, то динамика колесной нагрузки на дорогу, учитывая демпфирующую способность шин, будет описываться выражением:

$$N = G a_k + \tilde{N} = G a_k - C_n \cdot (Z_n - q) - K_n \cdot (\dot{Z}_n - \dot{q}) , \quad (4)$$

где Z_n, \dot{Z}_n – текущие значения перемещения и скорости перемещения оси колеса, определяемые из уравнений движения (2).

На рис. 2 представлены графики изменения относительной величины колесной нагрузки – $N_0 = N / G a_k$, передаваемой на дорогу при гармонических (синусоидальных) колебаниях автомобиля в режиме высокочастотного резонанса. Как видно из графиков, с уменьшением демпфирования (K_p) колебания колесной нагрузки от максимального ее значения (на ходе сжатия), до минимального (при отбое) – возрастают. Ухудшение управляемости и других эксплуатационных свойств автомобиля связано с уменьшением действующей на колеса вертикальной динамической нагрузки, поэтому в качестве оценочного показателя стабильности колесной нагрузки используем наименьшее значение N_{\min} , которое она принимает на ходе отбоя при заданной частоте колебаний ω , отнесенное к статической нагрузке:

$$S = N_{\min} / G a_k . \quad (5)$$

Использование относительного показателя S позволяет сравнивать по стабильности контакта колес с дорогой автомобиля с разной величиной статической колесной нагрузки. Величина S может изменяться от максимального значения $S=1$ (при движении автомобиля по ровной дороге), до минимального значения $S=0$ – при интенсивных колебаниях, когда происходит отрыв колеса от опорной поверхности дороги. Представление о зависимости стабильности колесной нагрузки от скоростного режима автомобиля дает частотная характеристика, определяющая динамику показателя стабильности S при изменении частоты колебаний.

Для получения ее аналитического выражения воспользуемся частотным методом, основой которого являются преобразования Лапласа [4]. Для изменяющейся составляющей динамической колесной нагрузки \tilde{N} (в уравнении (4)) передаточная функция имеет вид:

$$H_{\tilde{N}}(p) = C_n \cdot H_{Z_n - q}(p) + K_n \cdot H_{\dot{Z}_n - \dot{q}}(p) . \quad (6)$$

Соответствующую (6) частотную функцию получаем, заменяя оператор « p » на « $i\omega$ »:

$$H_{\tilde{N}}(i\omega) = C_n \cdot [H_{Z_n}(i\omega) - H_q(i\omega)] + K_n \cdot [H_{\dot{Z}_n}(i\omega) - H_{\dot{q}}(i\omega)] . \quad (7)$$

После раскрытия скобок и группирования действительных и мнимых частей частотная функция нагрузки \tilde{N} в комплексной форме записи будет иметь вид

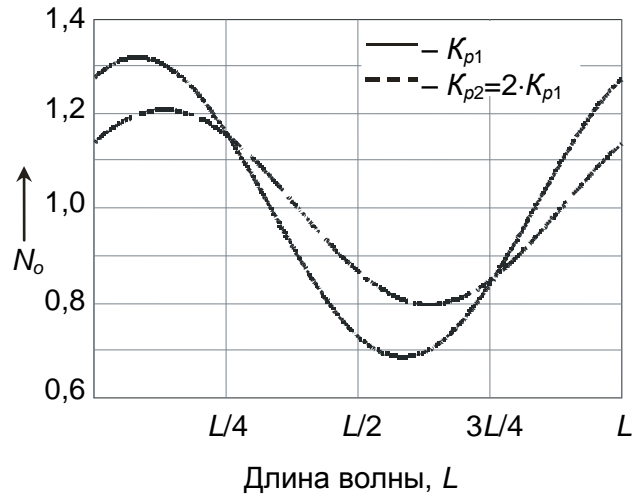


Рис. 2. Динамика колесной нагрузки в режиме резонанса неподдресоренных масс при различных сопротивлениях амортизатора ($\omega=80$ рад/с; $q_0=3$ мм)

$$H_{\tilde{N}}(i\omega) = a_{\tilde{N}}(\omega) + i \cdot b_{\tilde{N}}(\omega), \quad (8)$$

где

$$a_{\tilde{N}}(\omega) = -C_n \cdot (a_n - 1) + K_n \cdot b_n \cdot \omega; \quad b_{\tilde{N}}(\omega) = C_n \cdot b_n - K_n \cdot (a_n - 1) \cdot \omega. \quad (9)$$

Входящие в (9) параметры a_n и b_n являются коэффициентами при действительных и мнимых членах комплексной частотной функции перемещений неподрессоренной массы – $H_{z_n}(i\omega)$. Значения a_n и b_n определяются из решения системы алгебраических уравнений, получаемой в результате представления в операторной форме уравнений движения (2). В эквивалентной показательной форме частотная функция $H_{\tilde{N}}(i\omega)$ представляется в виде

$$H_{\tilde{N}}(i\omega) = A_{\tilde{N}}(\omega) \cdot e^{i\psi_{\tilde{N}}(\omega)}. \quad (10)$$

Здесь

$$A_{\tilde{N}}(\omega) = |H_{\tilde{N}}(i\omega)| = \sqrt{a_{\tilde{N}}^2(\omega) + b_{\tilde{N}}^2(\omega)}, \quad (11)$$

где $A_{\tilde{N}}(\omega)$ – модуль комплексной частотной функции колесной нагрузки \tilde{N} , представляющей собой отношение амплитудных значений \tilde{N} и высоты периодической неровности при фиксированной частоте колебаний.

Учитывая (4), выражение, описывающее частотную характеристику показателя стабильности колесной нагрузки S , можно записать в виде

$$A_S(\omega) = 1 - A_{\tilde{N}_{\min}}(\omega) \cdot q_0 / G a_k. \quad (12)$$

На рис. 3 приведены расчетные характеристики стабильности колесной нагрузки легкового автомобиля при различных сопротивлениях амортизатора. Как и на других частотных характеристиках системы поддрессирования (перемещений и ускорений кузова, перемещений колес, динамических прогибов подвески) на представленных графиках можно выделить следующие характерные области: дорезонансную (I), низкочастотного резонанса (НЧР) (II), соответствующую частоте собственных колебаний поддрессоренной массы, межрезонансную (III), высокочастотного резонанса (ВЧР) (IV), соответствующую частоте собственных колебаний неподрессоренной массы и зарезонансную (V).

В дорезонансной области I амплитуды колебаний кузова и колес автомобиля незначительно превышают высоту микропрофиля дороги, поэтому, как видим на рис. 3, динамическая колесная нагрузка мало отличается от статической ($S \approx 1$) и от сопротивления амортизатора зависит очень слабо.

В области низкочастотного резонанса II подвеска значительно усиливает колебания кузова, под влиянием которых амплитуды колебаний колес также несколько возрастают, вследствие чего стабильность колесной нагрузки снижается.

Второй, максимальный по величине пик снижения стабильности контакта колес с дорогой наблюдается при высокочастотном резонансе IV. В этом режиме колебаний подвеска, практически не оказывая влияния на амплитуду вертикальных перемещений кузова, значительно усиливает колебания мостов и колес автомобиля, что при недостаточном демпфировании может привести к отрыву колес от поверхности дороги. С увеличением сопротивления амортизатора амплитуды резонансных колебаний неподрессоренной массы, так же как и поддрессоренной, снижаются, вследствие чего, как видно из графиков, стабильность колесной нагрузки в резонансных режимах движения возрастает. При этом область высокочастотного резонанса несколько смещается в сторону более высоких частот колебаний.

По сравнению с резонансными режимами в межрезонансной полосе частот III стабильность колесной нагрузки выше, но с ростом сопротивления амортизатора она, в отличие

от резонансных режимов, не повышается, а снижается. Это связано с тем, что в этой частотной области, в сравнении с резонансными, относительные перемещения кузова и колес небольшие и от величины сопротивления амортизатора зависят мало, поэтому с его увеличением упругие усилия в подвеске уменьшаются значительно меньше, чем возрастают усилия, создаваемые амортизатором, величина которых изменяется пропорционально коэффициенту его сопротивления, что и определяет увеличение интенсивности межрезонансных колебаний колесной нагрузки.

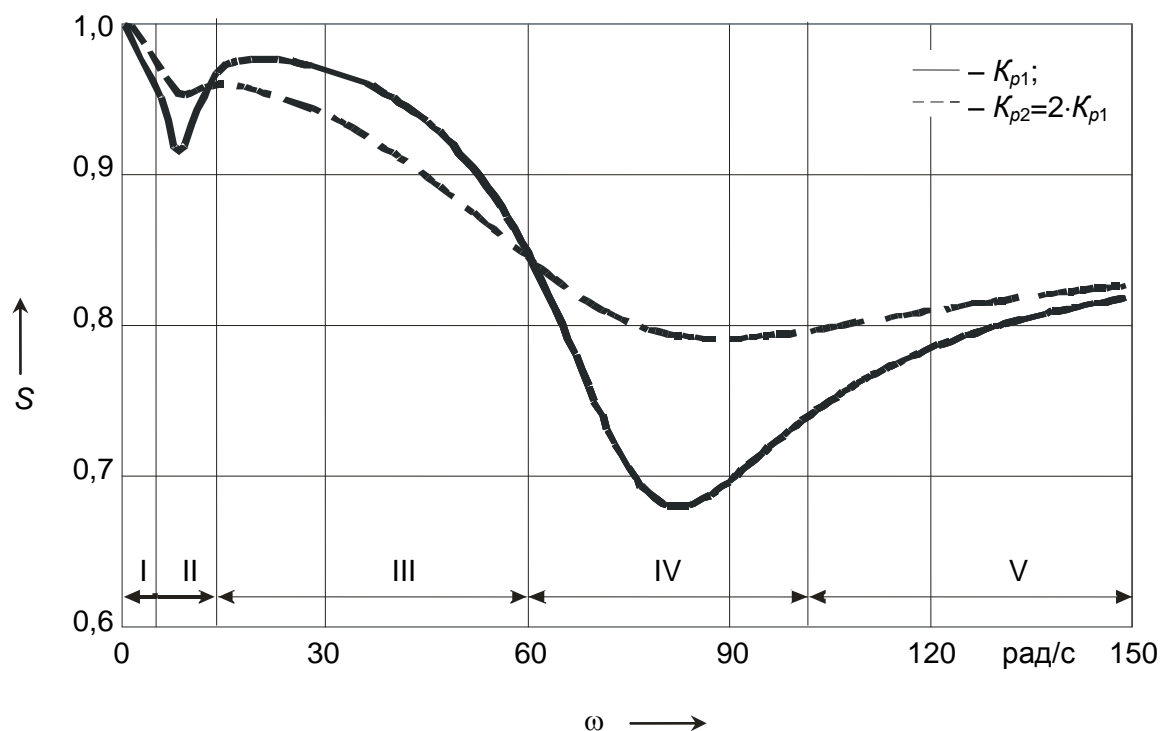


Рис. 3. Частотные характеристики стабильности колесной нагрузки легкового автомобиля при различных сопротивлениях амортизатора ($q_0=3$ мм)

Зарезонансная область V соответствует большим скоростям движения при малых высотах неровностей дороги. В этой области с увеличением частоты усиливающее действие подвески на колебания автомобиля уменьшается, вследствие чего стабильность колесной нагрузки возрастает. Так как сопротивление амортизатора наибольшее влияние оказывает только на резонансные колебания, то в зарезонансной области частот с увеличением сопротивления амортизатора стабильность контакта колес с дорогой повышается незначительно. Следует заметить, что плавность хода автомобиля с увеличением сопротивления амортизатора будет снижаться, так как создаваемое амортизатором сопротивление возрастает пропорционально квадрату частоты, и толчки, передаваемые через амортизатор на кузов, при больших частотах колебаний становятся значительными даже при небольших амплитудах перемещений колес, вызывая ощущение «тряски».

Расчетные характеристики стабильности колесной нагрузки подтверждаются экспериментальными исследованиями [3], а также результатами, полученными при диагностировании работоспособности амортизатора по величине вертикальной динамической реакции в зоне контакта виброплощадки стенда с колесом автомобиля в режиме высокочастотного резонанса [5].

Предложенная методика позволяет рассчитать характеристики стабильности колесной нагрузки и провести анализ влияния на них различных параметров системы поддрессоривания, обеспечивая тем самым возможность ее оптимизации, не ограничиваясь только требованием комфортабельности, а учитывая ее влияние также и на другие эксплуатационные свойства автомобиля, такие как управляемость и тормозная динамика, непосредственно связанные с безопасностью движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян Р.А., Гашук П.Н., Пидгородецкий Я.И. Об оптимизации параметров пневматической подвески автобусов // Труды ВКЭИ автобуспрома. Львов, 1981. С.97-111.
2. Силаев А.А. Спектральная теория поддрессоривания транспортных машин. М.: Машиностроение, 1972. 192 с.
3. Оценка стабильности контакта колес с дорогой на стенде / Я.М. Певзнер, А.Д. Конев, Г.Г. Гридасов, В.П. Рост // Автомобильная промышленность. 1975. № 5. С.29-30.
4. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. М.: Высшая школа, 1973. 528 с.
5. Любимов И.И., Хвостов Е.Д., Львов В.Г. Диагностирование демпфирующих свойств подвески // Эксплуатация современного транспорта: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1997. С.36-40.

Любимов Иван Иванович –
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Автомобили и двигатели»
Саратовского государственного технического университета

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 678.5:665.9

Е.В. Жилина, В.И. Бесшапошникова, С.Е. Артеменко, О.М. Сладков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВАНИЯ АКРИЛОВЫХ ТЕРМОКЛЕЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработан новый клеевой прокладочный материал на основе акриловых соединений. Проведена оптимизация технологического процесса производства клеевой пленки. Установлена зависимость свойств материала от параметров процесса формования. Определены области применения разработанных материалов в производстве одежды.

E.V. Zhilina, V.I. Besshaposhnikova, S.E. Artemenko, O.M. Sladkov

OPTIMIZATION OF FORMATION PARAMETERS OF ACRYLIC THERMOADHESIVE FILM MATERIALS

New adhesive interlayer material based on acrylic joints are given in this article. Optimization of the technological process of adhesive film production was conducted in the research. As a result the dependence of material properties on formation process parameters was established. Application spheres of the developed materials in a process of cloths making were defined here.

В различных областях производства все большее распространение получают акриловые клеевые композиции и их сополимеры. Свойства и область применения акриловых сополимеров зависят от типа концевых групп (метакриловых или акриловых), от количества и вида сореагентов, от природы и молекулярной массы блоков, составляющих основную цепь макромолекул смолы и условий протекания реакции полимеризации [1]. Изменение состава сополимера позволяет расширить ассортимент акриловых смол, однако, адгезионные и когезионные свойства таких композиций, определяющие их физико-механические и эксплуатационные свойства, в настоящее время изучены недостаточно, что снижает эффективность и ограничивает область их использования.

Поэтому целью данной работы являлись разработка технологии получения термоклеевых прокладочных материалов на основе акриловых сополимеров разного состава и определение эффективных областей их применения.

Перспективным направлением развития и совершенствования технологии изготовления швейных изделий является использование клеевых методов соединения деталей одежды [2]. Однако недостаточно широкий ассортимент термоклеевых прокладочных материалов

(ТКПМ) сдерживает этот процесс. Поэтому нами изучалась возможность расширения ассортимента ТКПМ за счет применения порошков марки АКР-622, АКР-226 и АКР-218, представляющих собой сополимеры акриловых соединений разного состава.

ТКПМ получали в виде термопластичной полимерной пленки (ТПП). Для получения ТПП навески порошков АКР-622, АКР-226 и АКР-218 равномерно распределяли по поверхности антиадгезионной полиэтилентерефталатной подложке. С целью повышения качества и однородности пленки порошки фиксировали на подложке. Фиксацию порошков на подложке осуществляли в термошкафу. Параметры термофиксации были выбраны с учетом температуры плавления акриловых порошков. Экспериментально установили, что для фиксации акриловых порошков на подложке необходимо образцы выдерживать в термошкафу в течение 90-100 с при температуре 125-130°C для АКР-622 и при температуре 160-165°C – для АКР-218 и АКР-226.

Акриловые полимерные пленки получали на каландре «Periquet» (Франция). При этом переменными параметрами процесса формирования структуры акриловых пленок являлись: температура нагрева валов каландра, давление между валами и время прохождения образцов между валами.

При выборе режимов процесса получения акриловых пленок применяли метод математического планирования эксперимента – полный трехфакторный эксперимент (ПФЭ) [3].

На основании данных предварительного эксперимента, характеристик исходных материалов и технических характеристик оборудования, основными параметрами оптимизации были выбраны три фактора: X_1 – давление, МПа; X_2 – температура, °С; X_3 – время, с. В качестве выходных параметров выбраны показатели: Y_1 – поверхностная плотность пленок, г/м²; Y_2 – прочность пленок при разрыве, даН; Y_3 – жесткость пленок, сН.

Данные предварительного эксперимента показали, что акриловое соединение АКР-226 непригодно для изготовления термоклеевого пленочного прокладочного материала для одежды, так как характеризуется высокой жесткостью и хрупкостью и низкой эластичностью. Поэтому его исключили при проведении дальнейших исследований.

ПФЭ проводили с помощью программного обеспечения на ПК. Получили математическое описание процесса в виде уравнений регрессии:

Для АКР-622:

$$Y_1 = 185,49 - 4,71 X_1 - 40,01 X_2 - 36,36 X_3 - 6,06 X_1 X_2 - 26,64 X_2 X_3 + 2,21 X_1 X_3$$

$$Y_2 = 14,39 + 0,44 X_1 + 4,56 X_2 - 0,91 X_2 X_3$$

$$Y_3 = 19,92 - 0,4 X_1 - 10,27 X_2 - 3,05 X_3 - 0,85 X_2 X_3$$

Для АКР-218:

$$Y_1 = 190,98 - 7,4 X_1 - 41,2 X_2 - 37,15 X_3 - 3,53 X_1 X_2 - 27,63 X_2 X_3 + 2,88 X_1 X_3$$

$$Y_2 = 15,94 + 0,71 X_1 + 4,19 X_2 - 0,96 X_2 X_3$$

$$Y_3 = 19,29 - 0,54 X_1 - 9,69 X_2 - 2,59 X_3 + 0,44 X_1 X_2 - 1,21 X_2 X_3$$

Полученные уравнения регрессии адекватны.

Оптимизацию параметров процесса получения ТПП проводили симплексным методом. Величины матрицы исходного симплекса определяли по формулам:

$$k_i = \sqrt{\frac{1}{2i(i+1)}}, \quad R_i = i k_i, \quad (1)$$

где i – номер фактора в матрице планирования эксперимента.

Условия начальной серии опытов представлены в табл. 1.

Символом «0» обозначены координаты центра плана, то есть основной уровень. Пользуясь формулой: $x_i = x_{oi} + \Delta x_i \cdot X_i$, (где Δx_i – масштаб по оси X_i – кодированной переменной) и данными табл. 1, рассчитали матрицу исходной серии опытов в физических величинах. Полученные результаты представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 1

Условия начальной серии опытов

Номер опыта	X_1	X_2	X_3
1	0,5	0,289	0,204
2	-0,5	0,289	0,204
3	0	-0,578	0,204
4	0	0	-0,612

Таблица 2

Условия и результаты планирования по симплексному методу для АКР-622

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Функции отклика		
				Y_1	Y_2	Y_3
1	27,5	132,89	6,408	161,93	15,87	16,08
2	22,5	132,89	6,408	167,95	15,43	16,48
3	25	124,22	6,41	204,34	11,86	25,34
4	25	130	4,74	208,46	14,39	18,05
5	25	139,6	5,29	101,2	18,36	7,8
6	25,25	141,6	7,39	90,1	15,6	5,7
7	29,6	144,5	6,4	81,32	9,4	6,2
8	22,5	132,9	6,4	167,9	15,4	16,5

Таблица 3

Условия и результаты планирования по симплексному методу для АКР-218

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Функции отклика		
				Y_1	Y_2	Y_3
1	27,5	182,89	6,408	165,95	17,44	15,68
2	22,5	182,9	6,408	173,79	16,7	16,09
3	25	174,2	6,41	210,45	13,63	24,5
4	25	180	4,74	213,68	15,94	20,79
5	25	189,6	5,29	172,4	17,9	17,2
6	25,25	190,2	7,39	151,2	17,1	15,8
7	29,6	192,2	6,4	149,12	12,23	18,1
8	22,5	182,9	6,4	173,8	16,7	16,1

Условия опыта № 5 и всех последующих находили по формуле:

$$x_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^{n+1} (x_{ji} - x_i^*) - x_i^* , \quad (2)$$

где n – число факторов в матрице планирования; j – номер опыта; i – номер фактора; x_i^* – значение i -го фактора в самом неудачном опыте предыдущего симплекса.

Полученные результаты оптимизации представлены в табл. 2 и 3.

Сравнивая между собой результаты первых четырех опытов, видим, что самый плохой результат в третьем опыте, низкая прочность при разрыве и высокая жесткость при изгибе образцов, табл. 2 и 3. Этот опыт следует исключить из дальнейшего рассмотрения, заменим его опытом № 5. В полученном новом симплексе самым неудачным является опыт № 4,

заменяем его опытом № 6. В новом симплексе самым неудачным является опыт № 2, заменяем его опытом № 7. Оптимизацию ведем до опыта № 7, так как новый шаг, опыт № 8, возвращает нас в предыдущую точку факторного пространства. Следовательно, экстремум критерия оптимальности достигнут.

Таким образом, с учетом основных показателей свойств разработанных материалов, оптимальными параметрами технологического процесса являются:

для пленочного материала на основе АКР-622

– с высокой жесткостью: давление 25 МПа, температура каландра 130°C, время формования 4,74 с;

– с пониженной жесткостью: давление 25,25 МПа, температура каландра 141,6°C, время формования 7,39 с;

– средней жесткости: давление 25 МПа, температура каландра 139,6°C, время формования 5,29 с;

для пленочного материала на основе АКР-218

– с высокой жесткостью: давление 25 МПа, температура каландра 180°C, время формования 4,74 с;

– с пониженной жесткостью: давление 25,25 МПа, температура каландра 190,2°C, время формования 7,39 с;

– средней жесткости: давление 25 МПа, температура каландра 189,6°C, время формования 5,29 с.

По разработанной технологии [4] были получены ТПП. Физико-механические свойства ТПП, полученных при различных технологических параметрах процесса производства, представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Влияние параметров процесса формования на физико-механические свойства ТПП на основе АКР-622

№ опыта	Параметры техпроцесса			Физико-механические свойства		
	Давление, МПа	Температура, °С	Время, с	Поверхностная плотность, г/м ²	Прочность при разрыве, даН	Жесткость при изгибе, сН
1	25	130	4,7	208,46	14,39	18,05
2	25	139,5	5,3	101,2	18,36	7,8
3	25	141,5	7,4	90,1	15,6	5,7
4	15	140	6	212	13,9	18,4
5	20	130	6	215	13,1	18,7
6	30	125	6	211	9,5	28
7	40	120	6	208	11	27
8	40	140	6	79	14,02	5,4

Установлено, что для полимера АКР-622 температура валов каландра должна быть 130-142°C, а для АКР-218 – 180-190°C, то есть на 40-50° выше температуры плавления полимера. При более низкой температуре ухудшается внешний вид ТПП, появляется неравномерность по толщине. При более высокой температуре начинается сильное течение полимера и растекание по поверхности подложки.

Изменяя давление между валами каландра от 15 до 40 МПа, получали материал разной толщины и жесткости. При давлении меньше 15 МПа не удается получить качественную поверхность ТПП, структура материала немонолитная, наблюдаются участки неполного плавления и растекания полимера, что приводит к неравномерности пленочного материала по толщине. При давлении более 40 МПа происходит нарушение целостности материала, появляются трещины, полимер с подложкой зажевываются валами каландра.

Таблица 5

Влияние параметров процесса формования на физико-механические свойства ТПП на основе АКР-218

№ опыта	Параметры техпроцесса			Физико-механические свойства		
	Давление, МПа	Температура, °С	Время, с	Поверхностная плотность, г/м ²	Прочность при разрыве, даН	Жесткость при изгибе, сН
1	25	170	8	249	11,0	31,4
2	25	189,6	5,3	175,0	18,2	17,1
3	25	190,2	7,4	149,2	17,8	15,6
4	30	190	8	93,8	19,4	5,9
5	20	190	6	145,3	18,1	15,1
6	30	190	4	152,1	13,8	17,9
7	40	170	4	234,2	11,4	29,3
8	40	170	8	222,4	14,2	26,7

Из полученных результатов видно, что лучшими показателями прочности характеризуются материалы, полученные по оптимальным режимам в соответствии с данными ПФЭ. При этом следует отметить, что значения показателей физико-механических свойств ТПП экспериментальные и определенные математически с применением ПФЭ, отличаются незначительно, табл. 2-3, и табл. 4-5.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены оптимальные параметры технологического процесса получения ТПП на основе акриловых сополимеров АКР-622 и АКР-218.

Установлено, что, изменяя параметры технологического процесса, можно выпускать ТПП высокой, средней и пониженной жесткости, это позволит расширить ассортимент ТКПМ.

Полученные образцы акриловых ТПП характеризуются высокими показателями физико-механических свойств: прочностью при разрыве 15-20 даН, жесткостью от 5 до 20 сН, поверхностной плотности 80-220 г/м².

Изучение потребительских свойств ТПП разной поверхностной плотности показало, что акриловые ТПП обладают высокой адгезией к текстильным материалам. Прочность клевого соединения в 2,2-3,5 раза превышает нормативные требования (не менее 3 Н/см).

Клеевые соединения не устойчивы к действию трихлорэтилена при химической чистке. После пятикратной химчистки прочность клевого соединения снижается на 43-46%. Нормативные требования допускают снижение прочности клевого соединения не более 20%. Следовательно, акриловые ТПП не выдерживают условия химчистки, поэтому не могут использоваться в производстве верхней одежды, подвергающейся в процессе эксплуатации и ухода химчистке.

Однако в условиях стирки прочность клеевых соединений не только не снижается, но даже повышают на 22-36 %, что позволяет рекомендовать применять их в качестве прокладок в производстве легкой одежды, а также швейных изделий технического назначения: тенгов, палаток и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеева В.И. Полимерные дисперсии. М.: Химия, 1980. 296 с.
2. Кокеткин П.П. Одежда. Технология – техника, процессы – качество. М.: МГУДТ, 2001. 555 с.
3. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. М.: Химия, 1975. 48 с.

4. Патент № 2228692 Российская Федерация. Способ получения термоклеевого прокладочного материала / В.И. Бешапошникова, О.М. Сладков, С.Е. Артеменко, Е.В. Жилина. Заявлено 28.11.02. Оpubл. 10.05.04. Бюл. № 14. Ч.2. С.233-234.

Жилина Елена Владимировна –

аспирант заочной формы подготовки,
старший преподаватель кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Бешапошникова Валентина Иосифовна –

кандидат технических наук, доцент,
докторант кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Артеменко Серафима Ефимовна –

доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Сладков Олег Михайлович –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.81.004.67

А.В. Хлыстов, В.А. Бабенко

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
РЕЖИМОВ ЖЕЛЕЗНЕНИЯ В «ГОРЯЧИХ» ХЛОРИСТЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ
НА АСИММЕТРИЧНОМ ТОКЕ**

Получены математические зависимости, которые позволяют при заданных режимах электролиза определить количественные характеристики заготовок, формообразуемых электролитическим железным покрытием в горячих хлористых электролитах на асимметричном токе. Они необходимы для научного обоснования оптимальных режимов железнения, при которых возможно получение покрытия с большой величиной припуска, а также для расчета параметров механической обработки восстанавливаемых деталей автомобилей.

A.V. Khlistov, V.A. Babenko

**MATHEMATICAL MODELLING AND OPTIMIZATION OF MODES OF IRON
PLATING IN "HOT" CHLORIDE ELECTROLYTES ON AN ASYMMETRIC CURRENT**

Mathematical associations which quantitative characteristics of the bars received by electrolytic iron cover in hot chloride electrolytes on an asymmetric

current are received, which allows in a certain regime to define a mode of an electrolysis. They are necessary for a scientific substantiation of optimum regimes of iron plating at which reception of cover with the big size of an allowance and as for calculation of parameters of engineering work of repaired details of automobiles is possible.

До настоящего времени практически не изученным остаётся использование асимметричного тока при восстановлении деталей в горячих хлористых электролитах железнения. Асимметричный ток применялся лишь с целью увеличения адгезии покрытия с основой в холодных (без нагрева) электролитах железнения. Практика восстановления разнообразных автомобильных деталей убеждает, что наиболее полно требованиям производства удовлетворяют горячие хлористые электролиты простейшего состава (без добавок) [1]. Но получение качественных железных покрытий большой толщины, за одну завеску в ванну, при обычных режимах железнения затруднительно. А это бывает необходимо при восстановлении деталей с нанесением большого припуска на обработку с целью обеспечения не только точности отдельно взятого размера, но и точности взаимного расположения рабочих поверхностей в детали.

Теоретические предпосылки позволяют сделать вывод, что при анодной полуволне асимметричного тока на покрываемой поверхности будет происходить десорбция водорода, образующегося при электролизе, устраняя тем самым питтинг, а также анодная полуволна способствует растворению покрытия, с вершин неровностей снижая дендритообразование. Эти два вида дефектов ограничивают предельно достижимую толщину наращиваемого слоя за одно завешивание в ванну. Ранее проведенный эксперимент подтвердил положительное влияние асимметричного тока на снижение питтингообразования [2].

Все это указывает на необходимость установления связи между показателями дефектов, а также микротвердостью и равномерностью покрытия и элементами режима железнения на асимметричном токе с целью последующей их оптимизации, а также получение информационной базы данных, необходимых для решения ряда задач, связанных с увеличением припуска на механическую обработку, проектированием технологического процесса механической обработки заготовок, определением числа ступеней обработки и припусков на обработку.

Пределы решения поставленной задачи ограничены установлением связи между элементами режима железнения и свойствами покрытия, наиболее значимыми с точки зрения их влияния на максимально возможную величину припуска и параметры механической обработки заготовки.

Поскольку в общем случае на искомые показатели качества покрытия влияют значительные количества элементов режима электролиза, то в основу решения задачи их оптимизации положен статистический многофакторный эксперимент с реализацией ортогонального композиционного плана Бокса-Уилсона, позволяющий для вычисления коэффициентов уравнения регрессии второго порядка варьировать переменными факторами как минимум на трёх уровнях.

Исследованию подвергалось влияние на искомые показатели качества покрытия трёх перечисленных выше факторов (см. таблицу):

- концентрация соляной кислоты, г/л (кислотность электролита, рН);
- плотность катодного тока, А/дм²;
- катодно-анодный показатель, %.

Концентрация соли хлористого железа в электролите и температура электролита принимались постоянными и равными 300-320 г/л и 80±2°С соответственно [2].

Исследуемые факторы в действительных значениях

Факторы Уровни	Катодная плотность тока* Дк, А/дм ² (Дк)	Кислотность электролита, рН (рН)	Катодно-анодный показатель, % (к)
Нижний	20	0,8	0
Основной	30	1,1	10
Верхний	40	1,4	20
Интервал варьирования	10	0,3	10
Кодовое обозначение	X1	X2	X3

* – для асимметричного тока средняя величина за период колебания

Основу, «ядро» планирования составляет полный факторный эксперимент 2^3 . Это позволяет рассчитывать основные эффекты и эффекты взаимодействия первого порядка. Для нахождения квадратичных эффектов добавляются $2k$ точек, называемых звёздными, на расстоянии $\pm\alpha$ от центра планирования. Величина α определяется числом факторов и для трёх-факторного эксперимента её значение равно $\alpha=1,215$. Кроме того, один опыт реализуется в центре плана. Кратность проведения эксперимента на каждом уровне соответствует трём, что обеспечивает 95%-ный уровень достоверности результатов исследований. С целью устранения систематических погрешностей эксперимента опыты рандомизировались реализацией их в случайной последовательности в соответствии с таблицей равномерно распределённых случайных чисел.

Для отброса ошибочных опытов используется критерий Стьюдента. Опыт считается бракованным, если экспериментальное значение критерия по модулю больше табличного значения.

По полученным результатам (m), (d) и (r) определялось влияние режимов электролиза на исследуемый параметр. Для описания исследуемого процесса использован полином второго порядка, в который кроме линейных членов входят выражения, характеризующие эффекты взаимодействия.

Уравнения регрессии при этом имеют следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1^2 + b_7x_2^2 + b_8x_3^2 . \quad (1)$$

Однородность дисперсии воспроизводимости для каждой точки проверялась по критерию Кохрена, ее значение сравнивалось с табличным, и если оно оказалось меньше табличного, то гипотеза об однородности дисперсии и воспроизводимости результатов принималась.

Гипотезу о значимости коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. Если расчётное значение критерия оказывалось больше табличного значения, то коэффициент признавался значимым. Проверку адекватности модели экспериментальным данным производили по критерию Фишера. Для уровня значимости 5% находилось табличное значение критерия и сравнивалось с расчетным. Если расчётное значение оказывалось меньше табличного, то гипотеза адекватности модели принималась.

В результате исследования влияния условий электролиза на свойства покрытий получен ряд математических моделей, адекватно описывающих область исследованного факторного пространства и обеспечивающих достаточную точность приближения расчетных данных к экспериментальным точкам, т.е. соблюдалось условие, при котором $F_{рас} < F_{табл}$.

Уравнения, показывающие зависимость исследуемых функций от частных параметров электролиза, имеют следующий вид:

для микротвердости:

$$m = 3423,027 + 35,086 \cdot Дк + 425,246 \cdot pH + 89,233 \cdot k - 120,991 \cdot Дк \cdot pH - 41,272 \cdot pH \cdot k + 1,192 \cdot Дк^2 + 933,146 \cdot pH^2 - 3,129 \cdot k^2;$$

$$F_{рас} = 2,636 < F_{табл} = 3,200; \quad (2)$$

для дендритообразования:

$$d = 195,038 - 2,154 \cdot Дк + 6,597 \cdot pH - 8,381 \cdot k - 0,889 \cdot Дк \cdot pH - 3,916 \cdot pH \cdot k + 0,0141 \cdot Дк^2 + 13,543 \cdot pH^2 + 0,485 \cdot k^2;$$

$$F_{рас} = 1,985 < F_{табл} = 3,600; \quad (3)$$

для равномерности:

$$r = 6,371 + 0,364 \cdot Дк + 0,0452 \cdot pH - 1,072 \cdot k - 0,0159 \cdot Дк \cdot pH + 0,165 \cdot pH \cdot k - 0,005 \cdot Дк^2 - 1,051 \cdot pH^2 + 0,031 \cdot k^2;$$

$$F_{рас} = 0,295 < F_{табл} = 3,600. \quad (4)$$

Полученные математические зависимости (модели) позволяют при заданных в области исследованного факторного пространства элементов режима электролиза определить количественные характеристики заготовок, формообразуемых электролитическим железным покрытием в горячих хлористых электролитах на асимметричном токе. Они необходимы для научного обоснования оптимальных режимов железнения, при которых возможно получение покрытия с большой величиной припуска, а также для расчета параметров механической обработки восстанавливаемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелков М.П., Швецов А.Н., Мелкова И.М. Восстановление автомобильных деталей твёрдым железом. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1982. 198 с.
2. Хлыстов А.В., Бабенко В.А. Процесс железнения изношенных деталей с большой величиной припуска // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. Шестой рос. науч.-техн. конф. Оренбург: ОГУ, 2003. 264 с.

Хлыстов Александр Владимирович –

аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического университета

Бабенко Виктор Андреевич –

кандидат технических наук,
профессор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического университета

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 62-76;.45.49;666.3/7

Л.А. Иванченко, Н.Д. Пинчук, А.А. Куда, И.В. Кучерук

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА ГИДРОКСИАПАТИТ-СТЕКЛО НА МЕТАЛЛАХ

Приведены результаты исследования некоторых физико-механических образцов композиционных стеклокристаллических материалов на основе гидроксиапатита синтетического и биогенного происхождения. Исследованные материалы относятся к веществам с низкими тепло- и электропроводностью, что представляет интерес для использования их в качестве тепло- и электроизоляционных покрытий. Установлена возможность получения покрытий из указанных материалов на металлах при использовании высококонцентрированной лучистой энергии.

L.A. Ivanchenko, N.D. Pinchuk, A.A. Kuda, I.V. Kucheruk

THE PROSPECTS OF USING THE PROTECTIVE COATINGS OF THE TYPE OF HYDROXYAPATITE-GLASS - ON THE METALS (FOR THE WORKS IN THE EXTREME CONDITIONS)

The research results of some physics and mechanical models of compositional glass crystalline materials on the basis of hydroxyapatite of synthetic and biogenic origin are shown here. The investigated materials relate to the substances with low heat- and electrical conductivity, which is of interest for their use as the thermal and electric insulation coatings. The possibility of obtaining the coatings from the indicated materials on the metals with the use of the highly concentrated radiant energy is demonstrated in the article.

Новые композиционные материалы, состоящие из структурного сочетания силикатных и фосфатных кластеров, объединенных цепочками и обладающих развитой поверхностью, проявляют низкую тепло- и электропроводность, малое тепловое расширение, хорошую тепловую стабильность и вследствие этого представляют интерес в качестве тепло- и электроизоляционных покрытий [1]. Сочетание физико-механических особенностей подложек из металлов и слоев силикофосфатной керамики на их поверхности позволит расширить возможности получения новых видов изоляционной защиты для техники, в том числе для отдельных узлов солнечных энергоустановок.

Цель работы: создание и изучение новых композиционных материалов с низкой тепло- и электропроводностью на подложках из титана или его сплавов, обладающих широкими перспективами практического использования.

Для применения в качестве покрытий исследованы композиционные материалы типа гидроксиапатит-стеклофаза, ранее разработанные нами [2-4].

Материалы и методы

Порошки синтетического ГАп (СГАп) были получены из водных растворов нитрата кальция и фосфата аммония [1]. Прессование порошков ГАп, смешанных с основными составляющими стеклофаз трех разных составов, производилось при использовании давления прессования 1-6 т/см². Спекание прессовок проводилось при температурах 800-1100°C. Было использовано также двухстадийное спекание исходных компонентов шихты при температуре предварительного спекания $T_1 > 1000^\circ\text{C}$ и $T_1 < 1000^\circ\text{C}$. Необходимость разбиения процесса спекания на две стадии обусловлена тем, что при температуре выше 1000°C синтетический ГАп нестехиометрического состава может преобразовываться в трикальцийфосфат [1]. Кратковременное предварительное спекание (не больше 0,25 часа) при $1000^\circ\text{C} < T_1 < 1300^\circ\text{C}$ позволяет избежать появления фазы трикальцийфосфат в композитах.

Для сравнения был использован биологический ГАп (БГАп) марки «Остеоапатит», полученный по ТУ У 22965992.001–2000.

Силикатно-боратно-натриевые стёкла с содержанием оксида кремния 45,0% мол. и 73,6% мол. были добавлены в количестве (5-70)% мас. Силикатно-натриевое стекло было добавлено в количестве 15-20% мас. Состав и структура полученных образцов были проверены методами химического анализа, рентгеновской и инфракрасной спектроскопии.

Изучены сравнительные физико-химические характеристики образцов указанной стеклокерамики с различным соотношением кристаллической и аморфной фаз, включающие пикнометрическую плотность, пористость, механическую прочность, электросопротивление, коэффициент термического расширения (КТР).

Величины электропроводности исследованных образцов стеклокерамики были измерены при прохождении постоянного тока с величиной напряжения 105 В и находятся в пределах 10^{-8} – 10^{-9} (Ом×см)⁻¹. Проведенные исследования КТР композитов показали, что они составляют $(1,307$ – $1,444) \cdot 10^{-5}$ градус⁻¹ в температурном диапазоне 30-630°C. Для оксида титана, который находится на поверхности титановых подложек, эта величина составляет $(0,8$ – $1,5) \cdot 10^{-5}$ градус⁻¹, а для композитов типа оксид титана-гидроксиапатит $-(1,1$ – $1,4) \cdot 10^{-5}$ градус⁻¹, примерно в том же температурном диапазоне [6]. Следовательно, эти материалы совместимы по величине КТР, что исключает нарушение целостности покрытия при высокоскоростных изменениях температур нагрева и охлаждения образцов.

Был исследован высокоскоростной нагрев вышеуказанных порошковых смесей на воздухе с помощью лучистой энергии, что позволило определить их высокотемпературное поведение, изучить взаимодействие с подложками из металлического титана и исключить при этом негативные факторы, возможные при иных способах термообработки. Для проведения эксперимента были использованы установки СГУ-2 и СГУ-4 [8]. Диаметр концентратора солнечного луча составлял 4 мм. Термообработка композитов в виде порошков и готовых компактных образцов была проведена в алуновом тиглях и в виде свободно насыпанных порошков на подложках из металлического титана. Используются различные режимы нагрева: угол раскрытия жалюзи от 10 до 50°, скорость открытия жалюзи 2,5°/мин, выдержка 10 минут при максимальном угле раскрытия.

Было установлено, что под действием концентрированного солнечного излучения происходит частичный расплав композита, интенсивность которого зависит от соотношения гидроксиапатит-стеклофаза в материале. Наблюдается поверхностное взаимодействие под-

ложек из титана со свободно насыпанным порошком композита. Образующиеся покрытия неоднородны по площади и по глубине.

Параметры образцов стеклокерамики, содержащих 59,3 % мас. стеклофазы, в которой 45,0% мол. оксида кремния

Вид гидроксиапатита	Размер частиц шихты I, мкм	Пористость, ±2,7%	Пикнометрическая плотность, г/см ³	Предел прочности, ±5 МПа		Модуль упругости, ГПа
				на изгиб	на сжатие	
БГАп	<160	33	2,762	24	47	29,0
БГАп	160-250	40	2,759	16	32	28,6
БГАп	250-500	41	2,789	16	28	26,5
СГАп	<160	38	2,785	21	30	27
СГАп	160-250	40	2,818	9	39	–
СГАп	250-500	42	2,972	4	17	23,5
БГАп**	<160	53	3,065	–	45	–
БГАп*	<160	51	2,715	–	96	22 [7]

* – использована стеклофаза с содержанием 73,6% мол.оксида кремния и одностадийное спекание;

**– использовано 15 мас.% стеклофазы, содержащей оксиды кремния и натрия, и одностадийное спекание.

В связи с этим в дальнейших исследованиях для получения более однородных покрытий были использованы подложки из титана и смеси шихты образцов с порообразователями. Предполагалось, что под действием солнечного излучения должны осуществляться синтез композитов и одновременное взаимодействие с поверхностью подложек. Режим нагрева был аналогичен вышеуказанному, но выдержка составляла 20 секунд при максимальном угле раскрытия.

Визуальный анализ полученных покрытий установил, что наиболее однородными по цвету и макроструктуре были покрытия на основе шихты композитов, содержащих ~50% стеклофазы. Адгезия таких покрытий оказалась наиболее высокой по сравнению с покрытиями на основе композитов с меньшим содержанием стеклофазы. Адгезия может быть улучшена, если на титановые подложки нанесен подслои стеклофазы, который в дальнейшем покрывается слоем композита. При этом могут быть использованы композиты с меньшим содержанием стеклофазы для получения покрытий с градиентной структурой и необходимыми физико-химическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каназава Т. Неорганические фосфатные материалы: Пер. с англ. Киев: Наукова думка, 1998. 297 с.
2. Структура і деякі властивості високопористої склокераміки, яка вміщує біологічний гідроксиапатит / Л.А. Иванченко, Т.І. Фальковська, Н.В. Даниленко и др. // Порошковая металлургия. 1999. № 9-10. С.48-53.
3. Получение и свойства упрочненного стеклофазой гидроксиапатита / Л.А. Иванченко, Т.И. Фальковская, Н.Д. Пинчук и др. // Порошковая металлургия. 2003. № 1-2. С.62-68.
4. Структура и свойства композиционного материала на основе гидроксилатапатита / Л.А. Иванченко, Н.Д. Пинчук, А.А. Крупа, Т.И. Фальковская // Стекло и керамика. 2003. № 6. С.30-31.
5. Пинчук Н.Д., Иванченко Л.А. Технологические процессы получения кальцийфосфатных биоматериалов // Порошковая металлургия. 2003. № 7. С.36-52.

6. Thermal-expansion and Mechanical Properties of the $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2\text{-TiO}_2$ Composite / E. Fidancevska, G. Ruseska, S. Zafirovski, B. Pavlovski // Science of Sintering. 34 (2002). P.241-246.

7. Отражательная способность теплозащитных материалов при радиационно-конвективном нагреве / Г.А. Фролов, В.В. Пасичный, В.С. Дверняков и др. // Инженерно-физический журнал. 1982. Т.42. № 5. С.72-75.

Иванченко Лиана Анатольевна –

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

Пинчук Наталия Дмитриевна –

кандидат технических наук, научный сотрудник
Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

Куда Алексей –

студент Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт».

Кучерук Ирина Викторовна –

студентка Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт»

УДК 621.657

А.К. Ильин, С.А. Дуванов

АНАЛИЗ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

На основе общих термодинамических закономерностей выполнен анализ различных вариантов работы тепловых насосов на переменных режимах.

A.K. Ilyin, S.A. Duvanov

ANALYSIS OF HEAT PUMPS WORK DURING VARIABLE REGIMES

Analyses of different variants of heat pumps' work during variable regimes are carried out on the basis of general thermodynamic regularities.

Проблемы теплофикации и энергосбережения – одни из важнейших в России в настоящее время [1]. Решению этих проблем посвящены в течение многих лет исследования Саратовской школы термодинамики и теплоэнергетики во главе с заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором технических наук, профессором А.И. Андрущенко.

Одной из проблем является использование тепловых насосов в системах теплоснабжения с целью повышения эффективности этих систем, энергосбережения, обеспечения хо-

рошей регулируемости. В работах Саратовской школы выполнен общий термодинамический и технико-экономический анализ возможностей использования тепловых насосов, рассмотрены общие и частные схемы использования теплонасосных установок, их эффективность в различных условиях [2-6 и др.].

В данной работе рассмотрены свойства непосредственно тепловых насосов (ТН) при изменениях температуры теплоносителя низкопотенциального источника теплоты для ТН, что является характерным в реальных условиях. На примере анализа конкретной схемы теплоснабжения с участием теплонасосной установки [6] подтверждено существенное влияние на эффективность схемы основного параметра тепловых насосов – коэффициента преобразования энергии. Это делает весьма актуальной задачу расчета параметров ТН на переменных режимах работы. Некоторые рекомендации по этому вопросу содержатся в литературе [7-9], однако в явном виде данная задача не решалась, особенно для возможных на практике вариантов работы ТН. Необходимость анализа переменных режимов ТН подтверждается графиками на рис. 1, где приведены данные по коэффициенту преобразования энергии для некоторых реальных насосов отечественного производства. На рисунке видно, что при увеличении разности $T_c - T_x$ возможно снижение коэффициента преобразования до минимально возможных величин (4,0-4,5) и ниже.

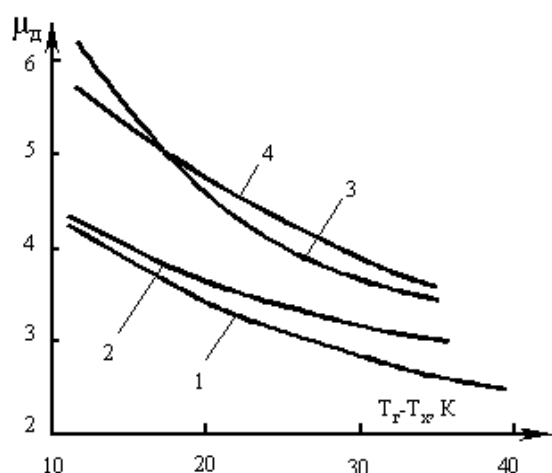


Рис. 1. Зависимость действительного коэффициента преобразования энергии от разности температур горячего теплоносителя на выходе из конденсатора и холодного теплоносителя на входе в испаритель для тепловых насосов типа:
 1 – НТ-65, рабочее вещество R12;
 2 – НТ-45, R12; 3 – НТ-410, R142в;
 4 – холодильная машина ХМ ФУУ-80 в режиме теплового насоса, R12

В данной работе выполнен анализ режимов работы ТН при условиях полного или частичного поддержания основных потребительских параметров – тепловой производительности и температуры горячего теплоносителя (или обоих, или одного из них). Возмущающим фактором является изменение температуры холодного теплоносителя, используемого в ТН.

Рассмотрены следующие варианты работы ТН:

1 – при сохранении постоянной тепловой производительности и температуры горячего теплоносителя;

2 – при сохранении температуры горячего теплоносителя и мощности привода ТН;

3 – то же, но мощность привода изменяется по определенному закону.

При анализе использовалась система уравнений, описывающих работу ТН. Она учитывает тепловые балансы в теплообменниках, энергетические преобразования, потери в цикле и компрессоре, начальные условия. Приняты допущения: тепловые потери в окружающую среду отсутствуют, коэффициенты теплопередачи теплообменников и коэффициент потерь ТН имеют постоянное значение на переменных режимах:

$$\left. \begin{aligned} Q_{1.m} &= F_1 \cdot k_1 \cdot (T_{1.m} - T_{z.m}), \\ Q_{0.m} &= F_0 \cdot k_0 \cdot (T_{x.m} - T_{0.m}), \\ \mu_\delta &= Q_{1.m} / N_m, \\ N_m &= Q_{1.m} - Q_{0.m}, \\ \mu_\delta &= T_{1.m} \cdot \eta / (T_{1.m} - T_{0.m}), \\ N_m &= Q_{1.m} - Q_{0.m}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь и ниже: T_1, T_0 – верхняя и нижняя абсолютные температуры рабочего вещества соответственно (t_1, t_0 – то же); $\Delta T_1, \Delta T_0, Q_1, Q_0, F_1, F_0, k_1, k_0$ – температурный напор, тепловая мощность, площадь поверхности теплообмена и коэффициент теплопередачи для теплообменников горячего (1) и холодного (0) теплоносителей соответственно; N – мощность привода теплового насоса; η – коэффициент технических и термодинамических потерь; скобки – (), [], { }, ||, | |, < >, \updownarrow (расположены в порядке увеличения приоритета); индексы: m – текущее значение параметра, n – номинальное значение параметра.

Результаты анализа варианта 1: При условиях варианта с помощью системы (1) получены следующие зависимости для параметров работы ТН:

$$\frac{Q_{0.m}}{Q_{0.n}} = \frac{[T_{x.m} - T_{1.m} \cdot (1 - \eta)]}{[T_{x.n} - T_{1.m} \cdot (1 - \eta)]}, \quad (2)$$

$$\frac{N_m}{N_n} = \frac{[Q_{1.m} + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{1.m} - T_{x.m})]}{[Q_{1.m} + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{1.m} - T_{x.n})]}, \quad (3)$$

$$\frac{\mu_m}{\mu_n} = \frac{[Q_{1.m} + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{1.m} - T_{x.n})]}{[Q_{1.m} + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{1.m} - T_{x.m})]}, \quad (4)$$

$$T_{0.m} = \frac{[T_{x.m} / (f \cdot \Delta T_{1.m}) - 1 + 1/\eta]}{[1 / (f \cdot \Delta T_{1.m}) + 1 / (\eta \cdot T_{1.n})]}, \quad (5)$$

где $f = F_1 \cdot k_1 / F_0 \cdot k_0 = \mu_n \cdot \Delta T_{0.m} / [(\mu_n - 1) \cdot \Delta T_{1.n}]$ – параметр, постоянный для данного теплового насоса и определяемый по характеристикам на номинальном режиме; $T_{0.m}$ – получено при решении общей системы уравнений (1) для переменных режимов варианта 1.

С помощью зависимостей (2)-(5) выполнен расчетный анализ переменных режимов для теплового насоса с номинальными параметрами, близкими к номинальным параметрам насоса НТ-410: $Q_1=490$ кВт; $N_n=112$ кВт; $T_{z.n}=360$ К; $T_{x.n}=308$ К; $F_1 \cdot k_1=70$ кВт/К; $\eta=0,6$; $f=1$. Результаты расчетов представлены на рис. 2. На рисунке не показана область работы ТН при дальнейшем снижении T_x , однако характер зависимостей в этой области вполне обозначен.

Во всех расчетах принято номинальное значение $\mu_\delta=4,5$. Однако для удобства дальнейшего использования результаты анализа на рис. 2 представлены в удельных величинах, на 1 м^2 поверхности теплообменника горячего теплоносителя. Это обеспечит в дальнейшем переход к понятию об «энергетическом подобии» тепловых насосов.

Выводы по варианту 1: Коэффициент преобразования энергии имеет высокие значения при $T_x > T_{x.n}$; при $T_x < T_{x.n}$ он не ниже минимального (4,0-4,5) до $T_x=315$ К. Весьма важно для практики с точки зрения энергосбережения, что при повышении T_x постоянная тепловая производительность ТН может быть достигнута при снижении потребляемой мощности за счет регулируемого (по T_x) электропривода насоса. При параметрах ТН, входящих в формулы (2)-(5) и соответствующих рис. 2, закон регулирования мощности привода имеет, как сле-

дует из рисунка, линейный характер, что вполне удобно при введении регулирования электропривода, и выражается в рассмотренном частном случае формулой:

$$\frac{N_m}{N_n} = 1 - 0,02 \cdot (T_{x.m} - 323) . \quad (6)$$

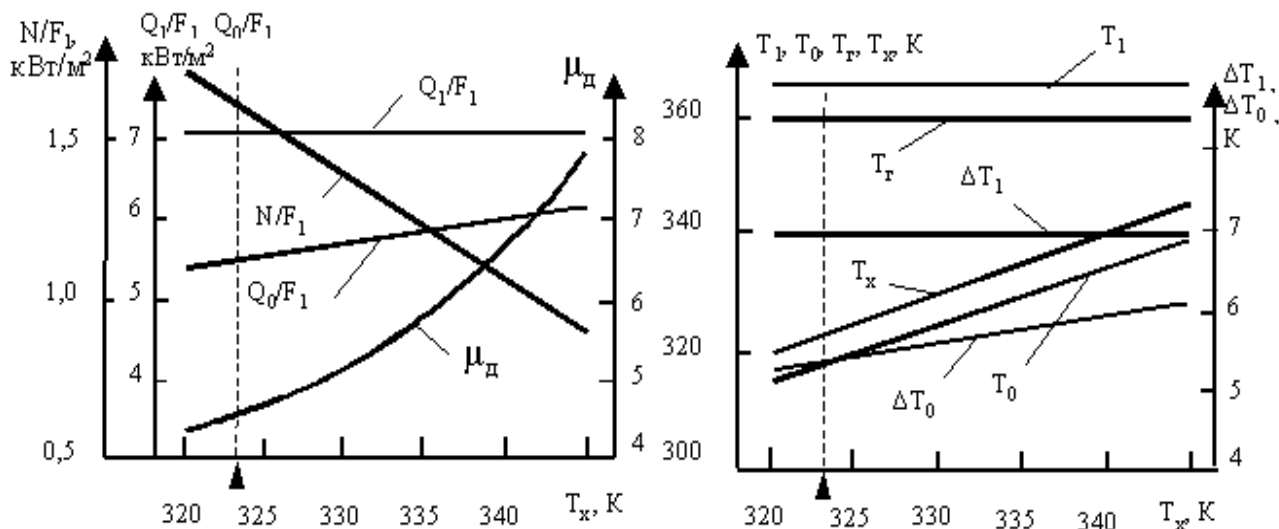


Рис. 2. Характеристики теплового насоса на переменных режимах работы по варианту 1, ▲ – номинальный режим

Результаты анализа варианта 2: При условиях варианта с помощью системы (1) получены следующие зависимости для параметров работы ТН:

$$\frac{Q_{0.m}}{Q_{0.n}} = \frac{(T_{x.m} - T_{0.m})}{(T_{x.n} - T_{0.n})} , \quad (7)$$

$$\frac{Q_{1.m}}{Q_{1.n}} = \frac{[N_m + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{x.m} - T_{0.m})]}{[N_n + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{x.n} - T_{0.n})]} , \quad (8)$$

$$\frac{\mu_m}{\mu_n} = \frac{[N_m + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{x.m} - T_{0.m})]}{[N_n + k_0 \cdot F_0 \cdot (T_{x.n} - T_{0.n})]} , \quad (9)$$

$$T_{0.m} = \frac{[b - (b^2 - 4ac)^{0,5}]}{2a} , \quad (10)$$

где

$$a = k_0^2 \cdot F_0^2 + k_0 \cdot F_0 \cdot k_1 \cdot F_1 = k_0 \cdot F_0 \cdot (k_0 \cdot F_0 + k_1 \cdot F_1) ,$$

$$b = k_0 \cdot F_0 \cdot (2N_m + 2k_0 \cdot F_0 \cdot T_{x.m} + T_{x.m} \cdot k_1 \cdot F_1 + k_1 \cdot F_1 \cdot T_{1.m} - \eta \cdot N_m) + k_1 \cdot F_1 \cdot N_m ,$$

$$c = N_m^2 \cdot (1 - \eta) + k_0 \cdot F_0 \cdot T_{x.m} \cdot (2N_m + k_0 \cdot F_0 \cdot T_{x.m} + k_1 \cdot F_1 \cdot T_{1.m} - \eta \cdot N_m) + k_1 \cdot F_1 \cdot T_{1.m} \cdot N_m \cdot (1 - \eta) .$$

Результаты анализа по зависимостям (7)-(10) для ТН, близкого по параметрам к тепловому насосу НТ-410 (при указанных выше номинальных параметрах), представлены на рис. 3.

Выводы по варианту 2: При работе ТН с постоянной мощностью привода при $T_x > T_{x.n}$ увеличивается тепловая производительность насоса при высоких коэффициентах преобразо-

вания. При $T_x > T_{x,n}$ величина μ_θ быстро падает. Работа ТН по такому варианту не требует регулирования мощности привода, однако на практике могут быть сезонные проблемы с использованием излишней тепловой производительности.

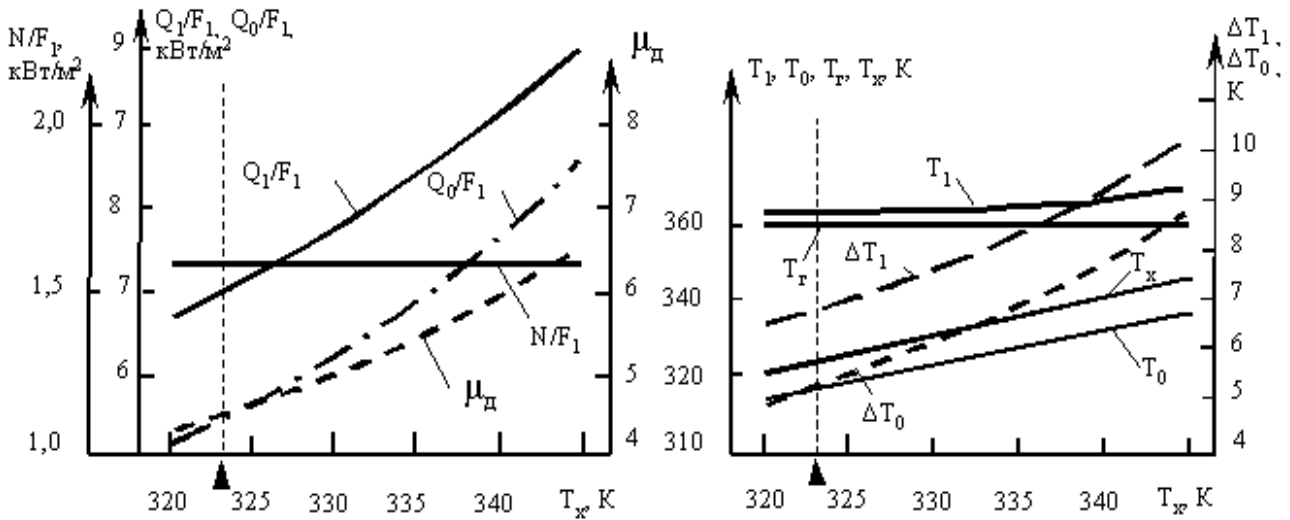


Рис. 3. Характеристики теплового насоса на переменных режимах работы по варианту 2

Результаты анализа варианта 3: Для этого варианта в систему (1) добавляется уравнение:

$$N_m = \frac{N_n \cdot (T_{1,m} - T_{0,m}) \cdot (T_{0,m})^{8,4}}{\left\| (T_{1,n} - T_{0,n}) \cdot (T_{0,n})^{8,4} \cdot \left\{ 1 - 0,0044 \cdot [(T_{1,n} - T_{0,n}) - (T_{1,m} - T_{0,m})] \right\} \right\|} \cdot \quad (11)$$

Зависимость (11) получена авторами при анализе имеющихся в литературе результатов испытаний тепловых насосов на переменных режимах для значительного количества ТН отечественного и зарубежного производства тепловой мощностью 2-920 кВт с использованием теплоносителей «вода – вода», «вода – воздух» и «воздух – воздух» и с рабочими веществами – R142, R142b, R12, R22 и их смесей, а также R407, R502. В результате решения системы (1) совместно с уравнением (11) получена, в том числе, итерационная зависимость:

$$Q_{1,m} = \left\langle - \left[T_{z,m} - T_{x,m} + \frac{Q_{0,m}}{(k_0 \cdot F_0)} + \frac{\eta \cdot Q_{0,m}}{(k_1 \cdot F_1)} - \eta \cdot T_{z,m} \right] + \left\{ \left[T_{z,m} - T_{x,m} + \frac{Q_{0,m}}{(k_0 \cdot F_0)} + \frac{\eta \cdot Q_{0,m}}{(k_1 \cdot F_1)} - \eta \cdot T_{z,m} \right]^2 - \frac{4 \cdot (1-\eta) \cdot \eta \cdot T_{z,m} \cdot Q_{0,m}}{(k_1 \cdot F_1)} \right\}^{0,5} \right\rangle \cdot \frac{k_1 \cdot F_1}{2 \cdot (1-\eta)} \quad (12)$$

Расчетные зависимости для других параметров ТН этого варианта не приводятся вследствие их громоздкости. Расчетный анализ выполнен с использованием данных по насосу НТ-410 (см. варианты 1 и 2). Результаты представлены на рис. 4.

Выводы по варианту 3: Фактически этот вариант, при использовании полученного из практики уравнения (11), соответствует «невмешательству» в проблему переменных режимов при создании тепловых насосов. В этом случае ТН дает на выходе неконтролируемые основные потребительские параметры и свойства: Q_1 , μ_θ , а также мощность N .

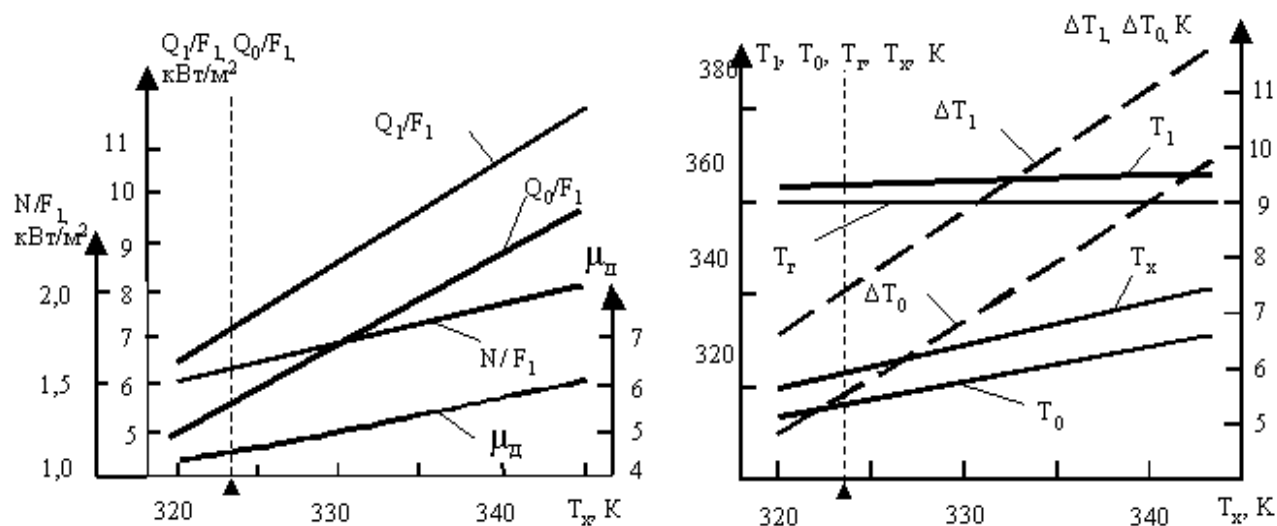


Рис. 4. Характеристики теплового насоса на переменных режимах работы по варианту 3

Необходимо отметить, в качестве примечания, что в уравнении (5) присутствует параметр f , учитывающий некоторое различие параметров теплообменников горячего и холодного теплоносителей на номинальном режиме. Этот параметр не намного отличается от единицы и его влияние в связи с этим невелико. Это хорошо видно на рис. 5.

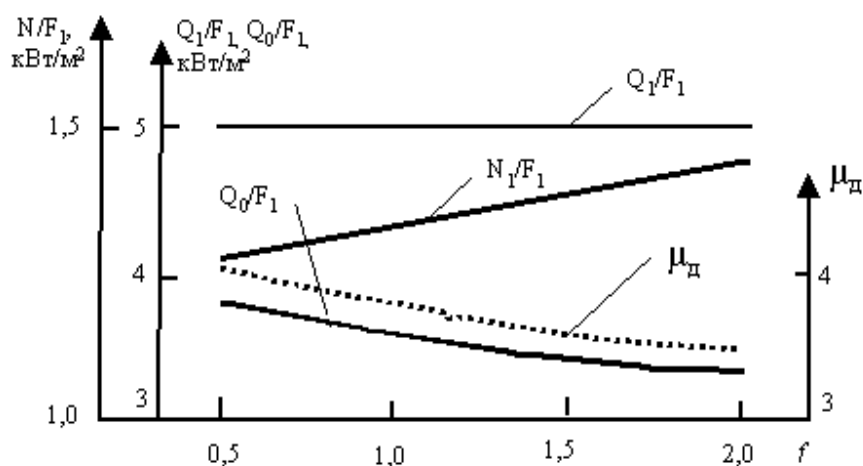


Рис. 5. Влияние параметра f на характеристики теплового насоса при условиях варианта 1; $T_{x,n}=310$ K

Таким образом, по результатам сравнительного анализа вариантов 1 и 3 видно, что регулирование мощности привода ТН может быть способом обеспечения необходимых выходных параметров на переменных режимах, обусловленных переменностью температуры низкопотенциального теплоносителя. Причем возможно в конкретных случаях применение различных способов регулирования мощности для областей $T_x > T_n$ и $T_x < T_n$ с целью обеспечения достаточно высоких коэффициентов преобразования энергии ТН и определенных законов изменения Q_1 и T_2 .

На рис. 6 и 7 на основе различных совмещений вариантов 1 и 2 в качестве примера показано изменение характеристик теплового насоса на переменных режимах при переходе от варианта 1 к варианту 2 (рис. 6) и от варианта 2 к варианту 1 (рис. 7) при изменении T_x . В первом случае особенностью работы ТН является сохранение постоянной тепловой мощности и темпе-

ратуры горячего теплоносителя при снижении T_x ниже номинального значения, во втором – поддержание мощности привода и температуры горячего теплоносителя на постоянном уровне.

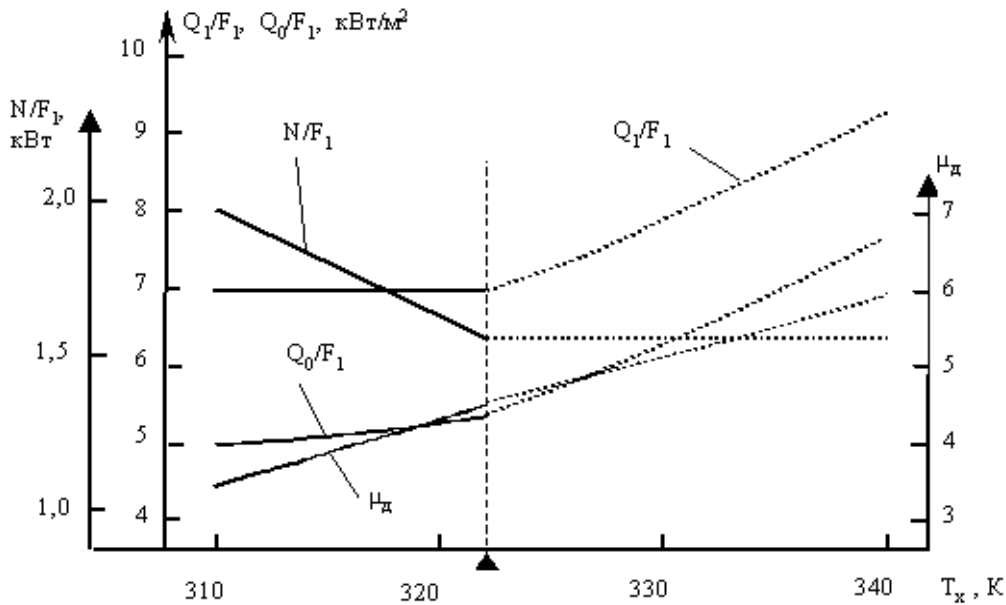


Рис. 6. Изменение характеристик теплового насоса на переменных режимах при переходе от варианта 1 (сплошные линии) к варианту 2 (пунктирные линии) в точке номинального режима при изменении T_x

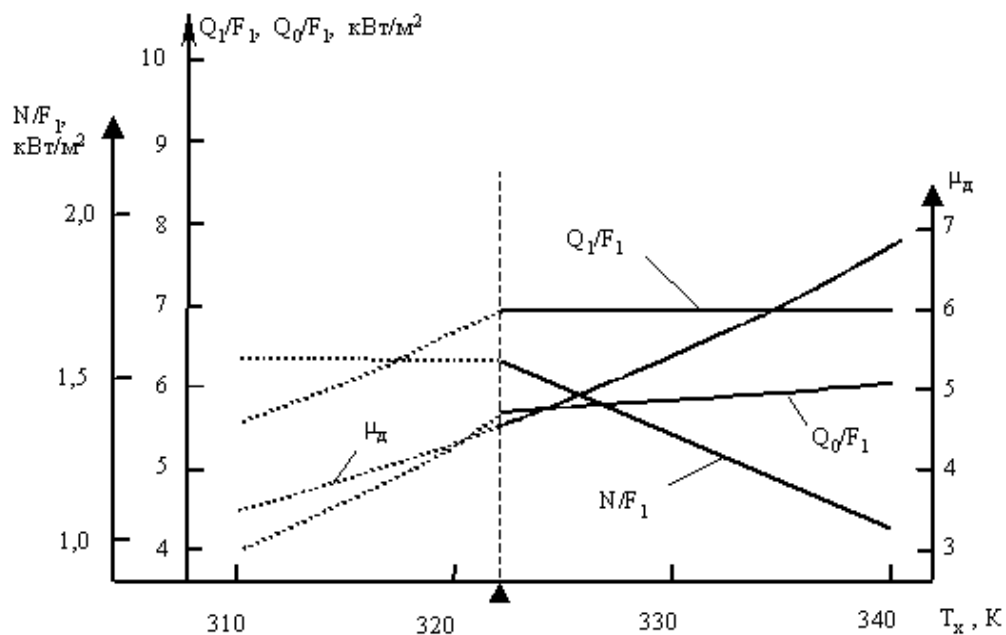


Рис. 7. Изменение характеристик теплового насоса на переменных режимах при переходе от варианта 2 (пунктирные линии) к варианту 11 (сплошные линии) в точке номинального режима при изменении T_x

Изложенный метод анализа переменных режимов работы тепловых насосов может быть применен для различных вариантов использования ТН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриющенко А.И. Важнейшие проблемы теплоэнергетики России // Известия вузов. Проблемы энергетики. 1999. № 5-6. С.3-12.
2. Андриющенко А.И. Сравнительная эффективность применения тепловых насосов для централизованного теплоснабжения // Промышленная энергетика. 1997. № 6. С.2-4.
3. Андриющенко А.И. Экономия топлива от применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения // Вопросы совершенствования региональных энергетических систем и комплексов: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1999. С.4-9.
4. Андриющенко А.И. Возможности экономии природного газа в системе теплофикации городов // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: Материалы науч.-техн. конф. Вып.2. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002. С.49-53.
5. Андриющенко А.И. Возможная экономия топлива от использования утилизационных ТНУ в системе энергоснабжения предприятий // Промышленная энергетика. 2003. № 2. С.7-10.
6. Николаев Ю.В., Новиков Д.В. Топливная экономичность комбинированной системы теплоснабжения на базе ТЭС и ТНУ // Актуальные вопросы промышленной теплоэнергетики и энергосбережения предприятий: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2004. С.194-197.
7. Везиришвили О.Ш., Меладзе Н.В. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения. М.: МЭИ, 1994. 160 с.
8. Дуванов С.А., Ильин А.К. Моделирование работы тепловых насосов на переменных режимах при неизменной температуре горячего теплоносителя // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия Энергетика. Вып.7.3. 2003. С.175-177.
9. Клепанда А.С., Филиппов Э.Б., Пашко П.В. Методика расчёта на ЭВМ парокомпрессионного теплового насоса // Холодильная техника. 1990. № 7. С.10-13.

Ильин Альберт Константинович –

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
заведующий кафедрой «Теплоэнергетика»
Астраханского государственного технического университета

Дуванов Сергей Александрович –

старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика»
Астраханского государственного технического университета

УДК 389.17:006

А.М. Козлитин

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РИСКА ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ

Рассмотрен возможный подход к оценке показателей риска техногенных аварий на опасных производственных объектах. Предложен метод построения поля коллективного риска.

А.М. Kozlitin

**METHODS OF CALCULATION OF RISK OF EMERGENCY
OF INDUSTRIAL CHARACTER**

This article examines a possible approach to an assessment of parameters of risk of industrial emergency on dangerous industrial objects. Also the method of construction of collective risk field is proposed here.

Ускорение темпов и расширение масштабов производственной деятельности в современных условиях неразрывно связано с все возрастающим использованием энергонасыщенных технологий и опасных веществ. В результате возрастает потенциальная угроза для здоровья и жизни людей, окружающей природной среды, материальной базы производства.

В первую очередь, это относится к высокорисковым объектам промышленной теплоэнергетики, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, магистральному трубопроводному транспорту, где наблюдается постоянная интенсификация технологий, связанная с возрастанием температур и давлений, укрупнение единичных мощностей установок и аппаратов, наличие в них больших запасов взрыво-, пожаро- и токсикоопасных веществ.

Отсюда, как следствие, наблюдается устойчивая тенденция роста числа аварий с все более тяжелыми социальными, экологическими и экономическими последствиями.

Крупнейшие техногенные аварии и катастрофы, которые произошли в течение двух последних десятилетий во всем мире, унесли десятки и сотни человеческих жизней, нанесли значительный, во многих случаях невосполнимый урон окружающей среде.

Достаточно назвать аварии на АЭС Three Mile Island (США), в Чернобыле (Украина), в Хамме (Германия), на химических предприятиях в Фликсборо (Великобритания), Севезо (Италия), Мехико (Мексика), Бхопале (Индия) и Базеле (Швейцария), на взрывопожароопасных объектах в Тулузе (Франция), в Энсхеде (Нидерланды), на буровых платформах в Англии, крупные транспортно-промышленные катастрофы в Арзамасе, Свердловске, под Уфой (Россия), крупнейшую чрезвычайную ситуацию с выбросом в реки Тису и Дунай высококонцентрированных цианистых соединений с трансграничными экологическими последствиями (Румыния).

В этих условиях анализ и оценка опасностей возможных аварий на потенциально опасных производственных объектах техносферы являются одними из ключевых проблем промышленной безопасности. Для решения данных проблем в статье рассмотрены теоретические основы и практика анализа техногенных рисков, обоснованы вероятностные методы количественной оценки опасностей объектов техносферы.

Безопасность техносферы трактуется в научной и нормативной литературе, как степень защищенности реципиента (человека, материальных объектов, экосистем) от чрезмерной опасности, исходящей от созданных и функционирующих сложных технических систем при возникновении и развитии аварийных ситуаций. В этой связи, для определения уровня безопасности реципиента, нами используется [1,2,3] интегрированный риск непосредственного воздействия чрезмерной опасности, отражающий конечный предполагаемый эффект в виде ожидаемого ущерба $R(Y_{\Sigma})$, выраженный в едином стоимостном эквиваленте и объединяющий (интегрирующий) в себе риски социального $R(Y_C)$, материального $R(Y_M)$ и экологического $R(Y_{\text{Э}})$ ущербов.

$$R(Y_{\Sigma}) = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{Э}}) . \quad (1)$$

Под чрезмерной опасностью будем понимать техногенно обусловленное поступление вещества и энергии в окружающую человека среду, приводящее к ухудшению ее состояния. При этом понимается, что такое поступление вещества и энергии может происходить не

только в условиях нормальной промышленной деятельности, но и в результате тех или иных аварийных ситуаций на промышленных предприятиях, приводящих к формированию полей поражающих факторов. В зависимости от вида реализовавшейся опасности различают следующие поражающие факторы – ударная волна при взрывах, поток тепловой энергии при пожарах, поля концентраций радиоактивных, опасных химических и биологических веществ при аварийных выбросах в окружающую среду.

При аварийном загрязнении окружающей среды сильно действующими ядовитыми веществами превалирует риск социального ущерба, при взрывах газопаровых облаков определяющим является интегрированный риск значительных материальных и социальных потерь, при пожарах разливов преобладает риск материального ущерба, при разливах нефти и нефтепродуктов главной и основной является экологическая составляющая риска.

Основой для вычисления показателей интегрированного риска является распределение потенциального риска по территории – поле потенциального риска в пределах круга вероятного поражения. Круг вероятного поражения (КВП) интерпретируется нами [4] как площадь внутри окружности с центром в точке реализации опасности, за пределами которой вероятность поражения реципиента риска исчезающе мала. Радиус окружности, ограничивающей данную территорию, определяется установленным для рассматриваемого реципиента риска порогом воздействия основного поражающего фактора при реализации на потенциально опасном производственном объекте (ОПО) постулируемой максимальной гипотетической аварии.

Характер поля потенциального риска вокруг ОПО существенно зависит как от типа опасности, так и от вида реципиента. То есть поле потенциального риска поражения человека не совпадает с полем потенциального риска поражения материального объекта и не совпадает с полем потенциального риска поражения экосистем. Естественно, не совпадают и поля потенциальных рисков токсического, фугасного и теплового поражения. Следовательно, и математические модели потенциального риска для каждого типа опасности и вида реципиента будут различны.

Рассматриваемый подход к анализу риска предполагает определение для конкретного вида реципиента интегрального (суммарного) поля потенциального риска от источника конкретной опасности для всего множества рассматриваемых сценариев реализации данной опасности. Если анализу подвергается не один объект, а система объектов, распределенных по территории, или единичный объект является источником различных типов опасностей, то проводится суммирование полей потенциального риска для рассматриваемого вида реципиента от каждого источника или типа опасности.

Остановимся более подробно на последовательности количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий, связанных с людскими потерями. Основными характеристиками случайной величины людских потерь при возможных авариях на опасном производственном объекте являются социальный риск, показывающий масштаб катастрофичности реализации опасности, и риск социального ущерба $R(Y_C)$, определяющий в стоимостном эквиваленте ожидаемое количество пораженных в результате возможной аварии.

Социальный риск, как количественная мера опасности, представлен в РД 03-418-01 функцией распределения потерь $F(\geq N)$, позволяющей учитывать отдельно вероятности и последствия реализации опасности в виде F/N -диаграмм.

Риск социального ущерба $R(Y_C)$, как составляющая интегрированного риска, представлен математическим ожиданием людских потерь или, в принятой в промышленной безопасности терминологии, коллективным риском R_K , выраженным в стоимостном эквиваленте человеческой жизни $R(Y_C) = R_K \cdot ЦСЖ$.

Величина ЦСЖ в обобщенном виде обоснована нами как цена спасения жизни человека – средневзвешенная по наиболее значимым и рисковым областям и сферам жизнедеятельности величина затрат для дополнительного спасения жизни каждого следующего индивидуума [1,2,5]. Учитывая значительную неопределенность данной величины, предлагается

при расчетах брать несколько уровней значения ЦСЖ – нижнее, среднее и верхнее значения, соответственно 600 тыс. руб., 1,0 млн. руб. и 1,4 млн. руб. на человека. Данные значения ЦСЖ хорошо коррелируются с оценкой средней стоимости человеческой жизни в России по данным ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» [6].

Для лица, принимающего решения, необходимо иметь не только информацию о масштабах катастрофичности последствий возможных аварий на ОПО в виде F/N -диаграмм и предельных кривых, но и картину распределения ожидаемого количества пораженных в виде поля коллективного риска на прилегающей к объекту территории. Характер поля коллективного риска позволяет исследователю видеть наиболее опасные участки территории и на этой основе принимать соответствующие организационные, управленческие и инженерные решения.

Метод картирования коллективного риска, определяющий распределение ожидаемого количества пораженных людей по территории в пределах КВП, может быть реализован для источника любого типа опасности – токсического, фугасного или теплового поражения. В рамках данной статьи рассмотрим, в качестве примера, метод картирования коллективного риска токсического поражения в результате возможной аварии на реальном предприятии химической промышленности.

1. Модель коллективного риска

В основу модели коллективного риска R_K положена формула $R_K = \sum_{i,j} R(x_i, y_j) \cdot P(x_i, y_j) \cdot N(x_i, y_j)$, функционально связывающая вероятность реализации поражающего фактора за интервал времени Δt , как правило, за год, в рассматриваемой зоне риска и ущерб, нанесенный данным поражающим фактором.

Для реализации данной модели прилегающая к объекту территория разбивается на элементарные площадки – зоны риска, ij -координаты которых представляются точками (x_i, y_j) , расположенными в центре каждой площадки (рис. 1).

Масштаб карты и шаг сетки выбираются в зависимости от требуемой точности расчета. В каждой элементарной площадке для группы людей с одинаковыми условиями поражения определяются численность производственного персонала и/или населения $N(x_i, y_j)$ и вероятности $P(x_i, y_j)$ нахождения данных групп людей в рассматриваемой зоне риска за принятый интервал времени Δt . На их основе формируется матрица распределения людей по зонам риска $\|N_{ij}^{P(x,y)}\|$, взвешенная по вероятностям $P(x,y)$. Вероятность реализации поражающего фактора за рассматриваемый интервал времени в каждой из рассматриваемых зон риска характеризуется распределением потенциального риска $R(x_i, y_j)$.

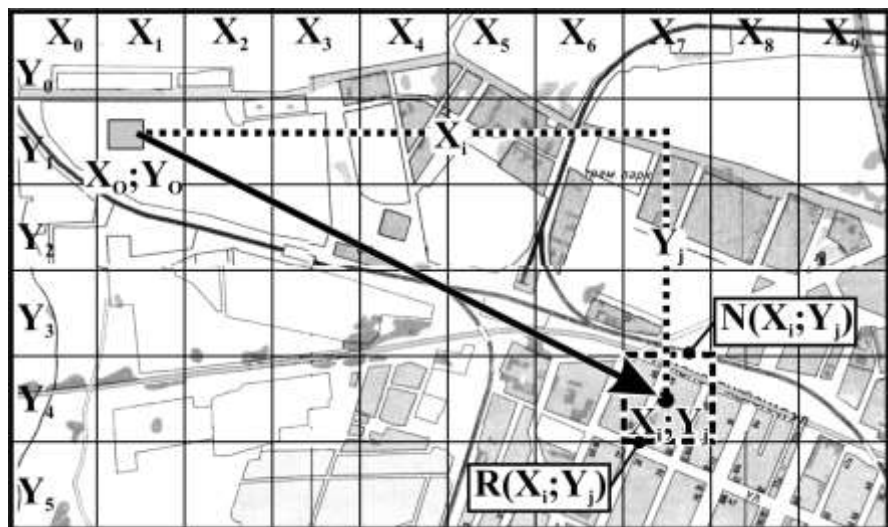


Рис. 1. Зоны риска

2. Модель потенциального риска токсического поражения

Условия, в которых могут оказаться люди при аварийном выбросе ядовитого вещества на химически опасном производстве, носят случайный характер. Случайными величинами являются как величина дозы D в пределах ij -площадки, так и факт поражения человека при данном значении полученной токсодозы. Следовательно, чтобы измерить потенциал максимально возможной опасности токсического поражения человека $R(x_i, y_j)$ в рассматриваемой точке (x_i, y_j) территории, необходимо знать функцию $g(x, y, D)$ – плотность вероятности формирования в рассматриваемой зоне риска определенного уровня дозы $D(x, y)$ ядовитого вещества и вероятность токсического поражения человека $P(D)$ при условии, что в рассматриваемой зоне риска уровень дозы превысит пороговый критерий воздействия PCt , а также функцию распределения вероятностей среднегодового ветра по направлениям 8- или 16-румбовой розы ветров, $P(\varphi)$.

Основываясь на сказанном, потенциальный риск $R(x, y)$, характеризующий пространственное и временное распределение опасности токсического поражения на прилегающей территории, обоснован и представлен нами интегральной формулой полной вероятности

$$R(x, y) = P(\varphi) \cdot \int_{PCt}^{LCt} g(x, y, D) \cdot P(D) dD, \quad (2)$$

где PCt , LCt – пороговая и летальная токсодозы.

2.1. Определение плотности $g(x, y, D)$

Вероятность формирования в рассматриваемой зоне риска определенного уровня дозы $D(x, y)$ химически опасного вещества зависит от целого ряда случайных событий, совокупность которых может привести к поражению человека. Эти случайные события связаны, главным образом, со стохастическим процессом реализации опасности на химически опасном объекте и выбросом ядовитого вещества, а также процессом рассеяния ядовитого облака в атмосфере и формированием поля поражающих факторов.

Основным показателем тяжести последствий аварийного выброса на потенциально опасном объекте является величина массы ядовитого вещества (M), участвующего в формировании поля дозовой нагрузки $D(x, y)$ на прилегающей территории. Величина массы аварийного выброса M является случайной величиной и характеризуется соответствующим вероятностным распределением с плотностью распределения частот $f(M)$. Функция $f(M)$ определяется методами регрессионного анализа. Методика построения регрессионной модели возникновения и развития техногенных аварий разработана в Саратовском региональном отделении РЭА [2]. При построении регрессионной модели учитывается весь спектр возможных аварийных выбросов от M_{\min} до M_{\max} в рассматриваемой группе сценариев и частоты их появления, взвешенные по условным вероятностям возникновения и развития аварий на химически опасном объекте. Функция $f_i(M)$ – важная характеристика технической системы, определяющая опасность объекта, как источника аварийных выбросов, не числом для отдельного события, а кривой плотности распределения частот, построенной для различных сценариев аварии с учетом их вероятности.

После построения регрессионной модели возникает задача определения вероятности формирования в рассматриваемой зоне риска определенного уровня дозы $D(x, y)$ ядовитого вещества. Найдем закон распределения функции случайной величины $D(x, y) = \varphi(M, x, y)$ на основе плотности распределения $f(M)$ случайного аргумента M . Случайная величина токсодозы $D(x, y)$ может быть выражена, с привлечением методик прогнозирования последствий выбросов ОХВ [7], через случайную величину массы аварийного выброса M , функциональной зависимостью $D(x, y) = \varphi(M, x, y)$. Так как функция $\varphi(M, x, y)$ дифференцируема и строго возрастает на всем участке возможных значений M , обратная функция которой $M = \psi(D, x, y)$, то плот-

ность распределения $g(x,y,D)$ случайной величины $D(x,y)$, находится, в соответствии с теорией вероятностей, из равенства

$$g(x,y,D) = f[\psi(D,x,y)] \cdot |\psi'(D,x,y)|, \quad (3)$$

где $\psi'(D,x,y)$ – производная обратной функции по D .

2.2. Определение параметрического закона токсического поражения человека $P(D)$

Поражение человека при получении им определенной токсодозы носит случайный характер и описывается параметрической зависимостью «доза-эффект». В качестве функции «доза-эффект» нами используется аппроксимация параметрического закона токсического поражения человека распределением Вейбулла [1]

$$P(D) = \frac{\gamma}{\sigma} \int_0^D \left(\frac{Z}{\sigma}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{Z}{\sigma}\right)^\gamma\right] dZ, \quad (4)$$

где $P(D)$ – вероятность токсического поражения соответствующей степени тяжести; D – текущее значение поглощенной токсодозы в рассматриваемой точке пространства; σ, γ – параметры распределения Вейбулла для рассматриваемого ядовитого вещества; Z – переменная интегрирования.

3. Определение коллективного риска для рассматриваемой территории

Рассмотрим последовательность построения поля коллективного риска на прилегающей к химически опасному объекту территории. На основе полученной зависимости (2) и с учетом вероятностного распределения среднегодового ветра $P(\varphi)$, определяется пространственно-временное распределение потенциального риска на прилегающей территории. График трехмерной поверхности функции распределения $R(x,y)$ по направлениям 8-румбовой розы ветров для реального предприятия химической промышленности показан на рис. 2.

Построенная в одних осях с графиком $R(x,y)$ секущая плоскость равных значений риска 10^{-6} год⁻¹ позволяет выделить зоны повышенной опасности для селитебной территории. Используя функцию $R(x,y)$, строится матрица потенциального риска $\|R_{ij}\|$. Зная характер распределения потенциального риска на прилегающей к объекту территории $\|R_{ij}\|$ и характер распределения групп людей по зонам риска с учетом вероятности их нахождения в рассматриваемых зонах $\|N_{ij}^{P(x,y)}\|$, определяется матрица распре-

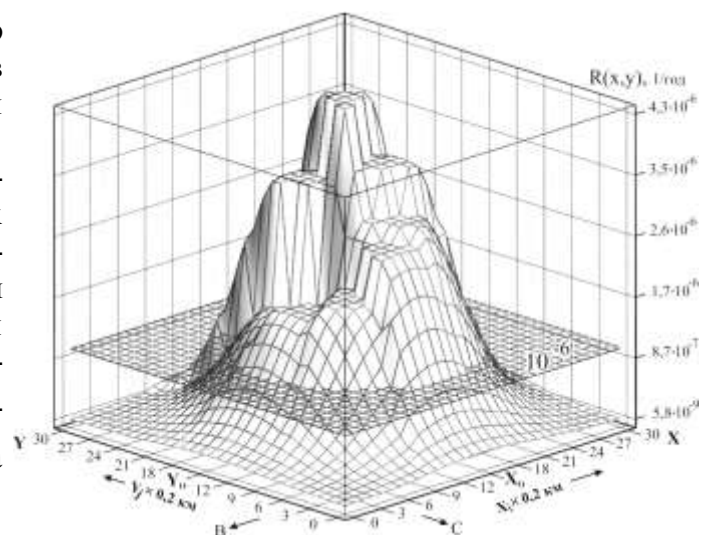


Рис. 2. Распределение потенциального риска

ления коллективного риска $\|R_{Kij}\|$ с привязкой к координатной сетке карты. График распределения коллективного риска по зонам риска на прилегающей к объекту территории, для реального предприятия химической промышленности, показан на рис. 3.

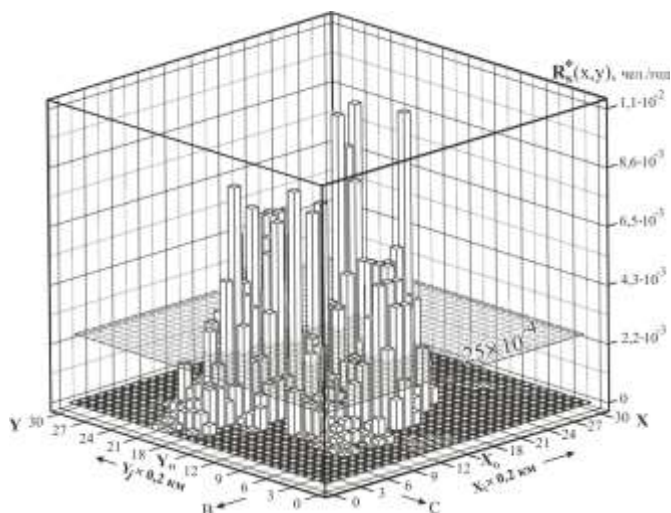


Рис. 3. Распределение коллективного риска

Построенная в качестве примера в одних осях с графиком $\|R_{kij}\|$ секущая плоскость равных значений социального риска, когда 25 и более взрослых людей подвергаются опасности с вероятностью 10^{-4} в год, позволяет выделить зоны с неприемлемым уровнем коллективного риска.

Заключение

Описанные методы количественного анализа риска позволяют получить объективную информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню потенциального и коллективного риска, выявить, при наличии законодательно установленных критериев социального риска, зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятие определенных мер по снижению риска и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятие определенных мер по снижению риска и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлитин А.М., Попов А.И. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы. Саратов: СГТУ, 2000. 216 с.
2. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. Саратов: СГТУ, 2002. 180 с.
3. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Аналитические методы и практика анализа риска аварий на опасных химических объектах // Об опыте декларирования промышленной безопасности и развитии методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах: Материалы тематического семинара. М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. С.73-80.
4. Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств // Безопасность труда в промышленности. 1997. № 2. С.21-24.
5. Попов А.И., Козлитин А.М. Методологические подходы и количественная оценка риска чрезвычайных ситуаций в регионах с потенциально опасными объектами // Безопасность труда в промышленности. 1995. № 2. С.10-14.
6. К вопросу об оценке стоимости человеческой жизни / И.А. Кручинина, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2003. № 4. С.72-75.
7. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка: детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: СГТУ, 2000. 124 с.

Козлитин Анатолий Мефодьевич –

кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Теплоэнергетика» Саратовского государственного технического университета

Э.М. Малая, С.А. Сергеева

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Энергосбережение – одно из основных направлений развития систем теплоснабжения. Рассматриваются решения проблем энергосбережения, приоритетные с точки зрения потребителей теплоты: уменьшение расхода теплоты в системах отопления, горячего водоснабжения и вентиляции зданий. Поднимается вопрос реконструкции тепловых сетей, так как повышение надежности функционирования тепловых сетей ведет к снижению потерь теплоты при транспортировке теплоносителя от источника до потребителя.

E.M. Malaya, S.A. Sergeeva

ENERGY-SAVING AS AN IMPORTANT FACTOR OF DEVELOPMENT OF A HEAT SUPPLY SYSTEM INFRASTRUCTURE

Energy-saving is one of the reference directions of the development in the engineering of the heat supply system infrastructure. In this article we solve some of the energy-saving problems such as decreasing in consumption of heating systems, heat water-supply and buildings ventilation. Also we consider heat network reconstruction problem. Reliability growth of heat supply system function brings to decreasing of heat leakage in heat carrier transportation process.

Основными потребителями тепловой энергии в Саратовской области являются население (3430,1 тыс. Гкал), объекты жилищно-коммунального хозяйства (4194,9 тыс. Гкал) и промышленный комплекс (3008,7 тыс. Гкал). Коммунальное хозяйство обеспечивает г. Саратов и 40 районов области услугами коммунально-бытового назначения, в том числе 427166 жилых домов, из которых с центральным отоплением – 12162. Среднеэксплуатационная площадь жилого фонда 55,6 млн. кв. м.

Анализ динамики теплопотребления показал большой рост потребления теплоты жилым фондом и объектами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) (рис. 1). В настоящее время параметры теплопотребления не выдерживаются, занижены по сравнению с нормативными значениями, однако, при полном использовании потенциала энергосбережения в отрасли, можно добиться стабильного роста теплопотребления при создании нормативных, комфортных условий в помещениях ($t_i=18^\circ\text{C}$).

Отопительные периоды 2000-2004 гг. проходили в Саратовской области в условиях напряженных поставок энергоносителей, ограничений потребления энергоресурсов из-за неплатежей за них. По данным ОАО Саратовэнерго, недопоставки топлива привели к снижению отпуска теплоты на 14,7%, а генерации электроэнергии на ТЭЦ – на 7,6%.

Прогноз производства тепловой энергии, рассчитанный с учетом существующей тенденции роста производства (рис. 2), а также плановым вводом новых тепловых мощностей (котельных, крышных котельных, поквартирного отопления) по области, показал, что без внедрения энергосберегающих технологий существующая динамика производства тепловой

энергии будет ниже расчетных темпов роста потребления теплоты. Расчеты роста потребления тепловой энергии учитывают динамику нового строительства с повышенным уровнем теплозащиты и при соблюдении норм теплопотребления, согласно СНиП 2.04.07-86 (табл. 1, рис. 3).

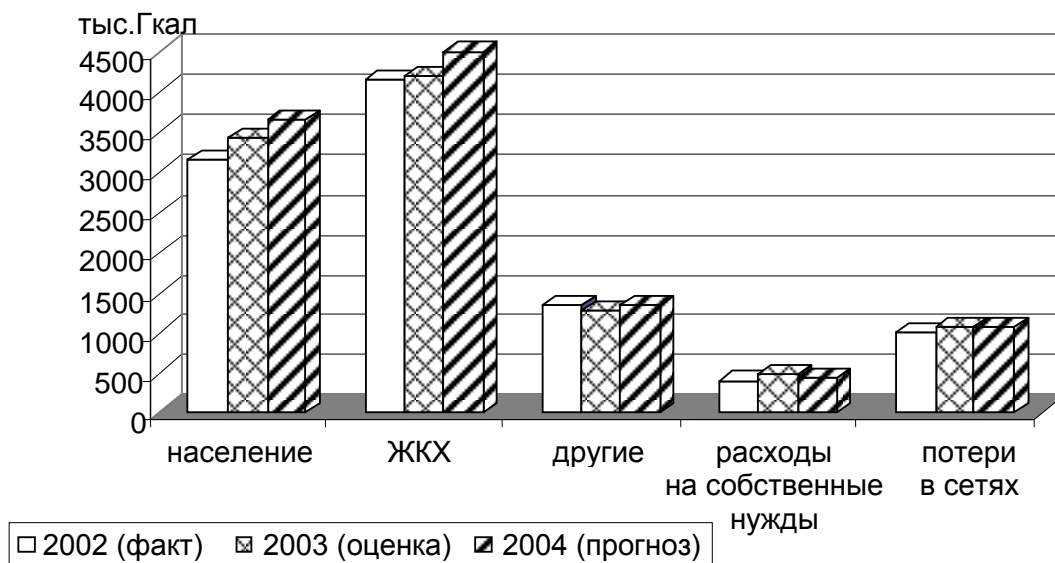


Рис. 1. Динамика распределения потребления тепловой энергии в жилищно-коммунальном секторе Саратовской области

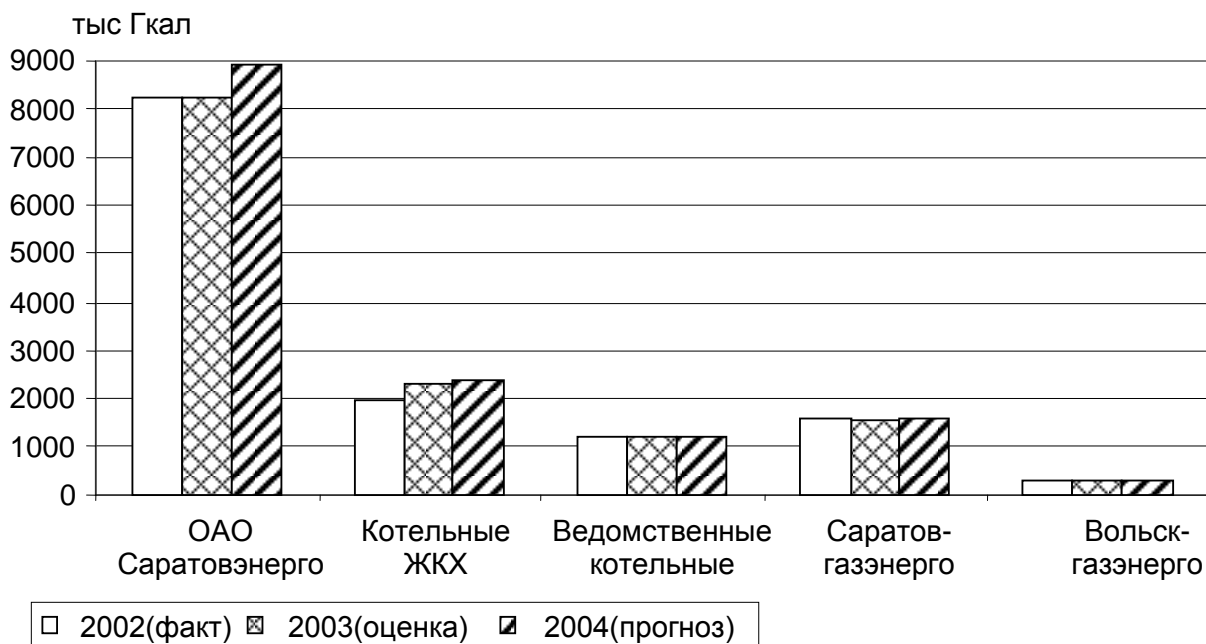


Рис. 2. Динамика производства тепловой энергии

Рассматривая укрупненный тепловой баланс традиционной системы теплоснабжения [1,2], можно увидеть огромные резервы экономии топливно-энергетических ресурсов и сбалансировать бюджеты разных уровней путем строжайшей энергосберегающей политики и оптимальной организации системы управления энергосбережением. Следует отметить, что для коммунального теплоснабжения отсутствуют указания и рекомендации по системному анализу эффективности и ранжированию энергосберегающих технических решений в систе-

мах коммунально-бытового теплоснабжения, определению приоритетов в их реализации с позиций энергосбережения. Укрупненная экспертная оценка экономии ресурсов в жилищном фонде представлена в табл. 2 [3,6].

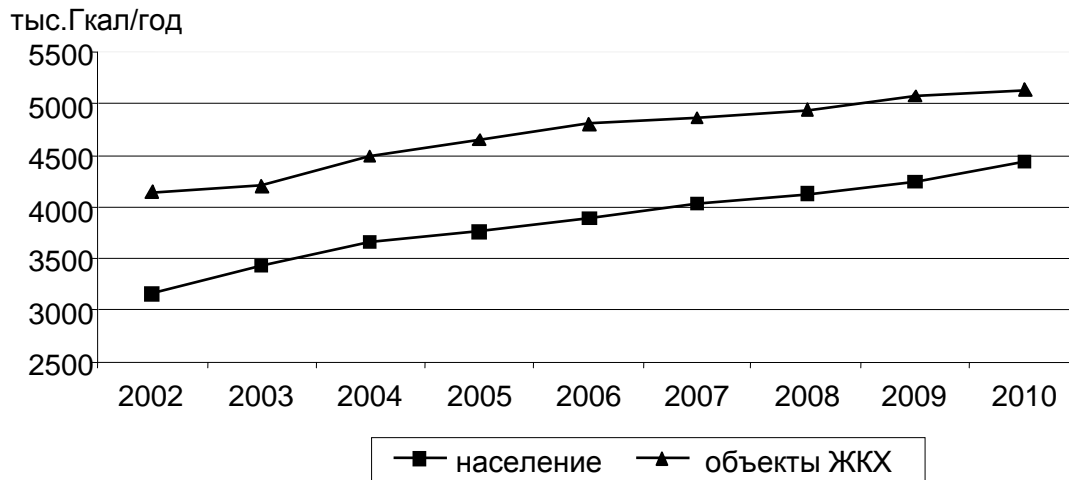


Рис. 3. Прогноз потребления тепловой энергии населением и объектами ЖКХ

Таблица 1

Экспертная оценка ввода жилищного строительства
(за счет всех источников финансирования)

Год	2002 отчет	2003 оценка	2004 прогн.	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ввод жилья, всего, тыс. кв. м	571,2	771	870	938	1021	1121	1246	1402	1598

Таблица 2

Прогноз экономии ресурсов в жилищном фонде

Ресурс	Годовая стоимость ресурса, руб./кварт.	Возможная экономия, %	Годовая стоимость сэкономленного ресурса, руб./кварт.	Удельная экономия, долл./руб./м ²
Тепловая энергия на отопление	75	25	16	0,32/10
На нагрев горячей воды	75	30	25	0,5/15
Холодная вода (включая канализацию)	200	30	60	1,2/36
Электроэнергия на освещение	90	80	72	1,4/42
ИТОГО	440	33	173	3,4/102

При подготовке прогноза принято: средняя площадь квартир – 50 м²; средняя заселенность квартир – 3,5 чел/кварт.; удельное водопотребление – 360 л/сут.чел.; годовой расход тепла на отопление – 10 Гкал.; годовой расход на горячую воду – 110 л/сутки на человека.

Проведенные документальные и инструментальные обследования потребления тепловой энергии жилищным фондом показали, что имеет место неоправданное завышение потребленной энергии, выставленной по счетам саратовских тепловых сетей и потребленных фактически объектами бюджетной сферы г. Саратова. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что действующие методики определения тепловой нагрузки по СНИП и Руководящих указаний различаются между собой и с данными по тепловой нагрузке указанной в договорах на снабжение тепловой энергией.

Внедрение энергосберегающих технологий может уменьшить тарифы, заставить население и поставщиков энергии проводить реконструкцию систем теплоснабжения с использованием собственных ресурсов. Жилищные организации не всегда заинтересованы в энергосбережении, так как не являются оптовыми покупателями ресурсов, не имеют статуса перепродавца (продажа в розницу), персонал жилищных организаций не стимулируется экономически за достижение экономии ресурсов. До 50% экономии может быть получено при устранении утечек и непроизводительных расходов воды, в том числе – горячей, доля которой в общем потреблении доходит до 50-60%. Работы по экономии воды достаточно просты и не требуют времени, они обеспечивают наиболее быстрый возврат вложенных средств. Расход тепла на отопление может быть снижен ориентировочно на 32-33%. Абсолютное же снижение годового расхода в этом случае, учитывая уменьшение расчетной мощности системы отопления не менее, чем на 20%, можно ожидать примерно в 1,8 раза.

Балансировка систем отопления – одно из оптимальных энергосберегающих мероприятий, так как является малозатратным, но обладает высокой эффективностью. Наиболее прогрессивной технологией является установка регуляторов перепада давления (балансировочных клапанов) в тепловых пунктах или непосредственно у потребителя.

Условиями, определяющими необходимость установки регуляторов перепада давления, являются:

– для тепловых пунктов:

- высота зданий, в которых смонтирована система отопления, превышает 30 м;

- статическое давление местной системы выше давления в обратном трубопроводе абонентского ввода;

- статическое давление тепловой сети меньше статического давления системы (в этом случае на подающем трубопроводе ввода устанавливается обратный клапан);

– для стояков местных систем отопления:

- необходимость гидравлической балансировки систем отопления.

Сотрудники кафедры ТГС разработали систему балансировки систем отопления зданий на основе программы Ригмо С.О. 3.1. По данной методике кафедрой проводилось обучение сотрудников ОАО Гипрониигаз.

Авторегулирование отопительной нагрузки в тепловых пунктах носит программный характер. Регулируемым параметром должна являться температура обратной воды из системы отопления. Коррекция регулирования отопительной нагрузки по температуре внутреннего воздуха, как это предлагается в [1], не всегда целесообразна. Таким образом, эффективность использования тепловой энергии при централизованном теплоснабжении можно повысить, главным образом, за счет авторегулирования отопительной нагрузки в тепловых пунктах. В индивидуальных тепловых пунктах возможно устройство регулирования для пофасадных ветвей системы отопления зданий. Конечно, устройству авторегулирования должны предшествовать энергоаудит и режимно-наладочные работы в тепловых сетях и системах отопления. Обязательная последующая установка теплосчетчика на вводе системы отопления здания создает реальное препятствие действию «экономического механизма» энергорасточительности, являющегося следствием того, что договоры с потребителями на поставку энергии часто отражают объемы реализации, а не фактическое потребление.

С 1994 г. сотрудниками кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» СГТУ исследовано состояние коммерческого учета количества тепловой энергии в энергосети города с общей нагрузкой 529,5 Гкал/ч, которая распределяется между 704 потребителями различных групп учета. Выявлено, что учет ведется в основном расчетным методом, приборы учета у абонентов практически не являются коммерческими, поэтому для обеспечения измерений расхода теплоты по всей цепочке от производителя до конкретного потребителя необходимо создавать систему комплексного учета. Оборудование узлов коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителей должно быть увязано с тарифной системой и базироваться на действующих Федеральных законах и постановлениях Правительства Российской Федерации. Характеристики и типы приборов учета теплоты и теплоносителей во многом зависят от тарифной системы, применяемой в конкретных системах теплоснабжения. Эти приборы должны дать возможность применять многоставочные тарифы и учитывать реально сложившуюся двухставочную систему тарифов: за Гкал и за м³. Обследование узлов учета городских потребителей выявило наличие приборов учета в основном российского производства:

- теплосчетчики ВКТ-4М, ТВМ, ТС, ТСП и др.;
- водомеры ВСТ, СГВ, СТГВ и др.;
- преобразователи расхода ППР.

Потребителям должно быть предоставлено право выбирать систему учета на своем тепловом вводе при экономической ответственности за сделанный выбор. При этом схемы узлов учета не должны зависеть от схем присоединения потребителей к тепловым сетям (открытая – закрытая, зависимая – независимая).

Активизацию энергосберегающих решений рекомендуется проводить по всем видам энергопотребления: электроэнергии, тепловой энергии, затрачиваемой на отопление, горячее водоснабжение, приточную вентиляцию и кондиционирование воздуха, а также газоснабжение и водоснабжение.

Сравнение эффективности вариантов теплоснабжения зданий, оборудованных системами вентиляции и кондиционирования, необходимо при включении в типовой проект двух или нескольких вариантов систем с задачей выбора области экономической целесообразности применения каждого из них. При этом одновременно могут быть решены две задачи: невыгодный в заданных условиях вариант не будет реализовываться; если какое-либо оборудование системы в настоящее время и в ближайшие годы будет дефицитным, то соответствующее решение будет реализовываться в первую очередь там, где оно обеспечит получение наибольшего экономического эффекта.

Экономически очень эффективны многие мероприятия, снижающие расход энергии при работе систем вентиляции общественных и промышленных зданий. Наиболее целесообразен метод, обеспечивающий активизацию решений при модернизации и капитальном ремонте систем приточной вентиляции бюджетной сферы. На основании результатов большого количества выполненных расчетов вентиляционных систем, можно считать, что оптимизация аэродинамических расчетов снижает приведенные затраты на них в среднем на 11%, а расход электрической энергии – на 6-7%. В настоящее время для регулирования работы систем, где используются насосные установки, используется общепринятая технология – дросселирование рабочей среды с помощью запорной арматуры, что обуславливает нерациональное использование электроэнергии. Наиболее эффективным и современным средством снижения расхода электроэнергии, потребляемой электродвигателями, является использование регулируемого электропривода, основу которого составляет комплекс «электродвигатель переменного тока – управляемый преобразователь частоты».

Экономическая оценка эффективности применения энергосберегающих мероприятий не может производиться без учета степени надежности их отдельных элементов и систем в целом, так как при снижении надежности увеличиваются эксплуатационные затраты. Главным критерием надежности является вероятность безотказной работы системы или ее эле-

мента f в течение заданных x часов. Вторым существенным критерием надежности является ремонтпригодность. Следовательно, надежность системы характеризуется сохранением показателей качества в течение заданного отрезка времени, и эффективность применения энергосберегающих установок следует определять с учетом надежности их работы в заданных условиях и режимах эксплуатации. Чем сложнее система, тем менее она надежна. Надежность можно значительно повысить путем резервирования элементов системы. Так, иногда экономически целесообразно предусмотреть запасной вентилятор. Повышение надежности достигается укрупнением и сокращением числа ее элементов, улучшением качества монтажа и приемки установок в эксплуатацию.

Вероятность безотказной работы P в течение x часов определяется по формуле:

$$P(x) = e^{-hx}, \quad (1)$$

где e – основание натурального логарифма ($\approx 2,73$); h – параметр потоков отказов в год.

При параллельном по надежности включении элементов системы:

$$P(x) = 1 - [1 - P_1(x)]^n, \quad (2)$$

где n – число параллельных включений элементов системы одного назначения.

При последовательном по надежности их включении:

$$P(x) = P_1(x) \cdot P_2(x) \cdot \dots \cdot P_n(x), \quad (3)$$

где n – число последовательно включенных элементов системы.

Величину $P(x)$ для различных элементов систем отопления и вентиляции определяют исходя из имеющихся результатов длительного изучения степени надежности элемента в принятом эксплуатационном режиме.

Для восстанавливаемых систем и их элементов вероятностным показателем безотказности является параметр потоков отказов O , выражающий вероятность отказов в единицу времени после момента Z и представляющий собой среднее число отказов в единицу времени после этого момента (отношение числа отказавших элементов n в единицу времени к общему числу отказов N наблюдаемых элементов).

$$O = \frac{n}{N \Delta Z}, \quad (4)$$

где ΔZ – принятый интервал времени.

Для оценки надежности устройств необходимо также определить на основе соответствующих статистических данных среднюю величину времени простоя систем на ремонте $Z_{рем}$, а также характер изменения этого показателя в течение периода эксплуатации. Тогда можно определить и основной показатель, характеризующий надежность системы: коэффициент технического использования η , на основании которого определяют убытки, возникающие вследствие бездействия системы:

$$\eta_u = \eta_u = \frac{Z_{нар}}{Z_{нар} + Z_{рем} + Z_{проф}}, \quad (5)$$

где $Z_{нар}$ – суммарная наработка системы за рассматриваемый период, ч; $Z_{рем}$ – суммарное время простоя системы на ремонте из-за отказов, ч; $Z_{проф}$ – то же, для проведения планово-предупредительного ремонта, ч.

Общая формула для определения снижения приведенных затрат при повышении надежности отдельных элементов системы со сроком службы ϕ лет имеет следующий вид:

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^{\phi} [(I_1 - I_2) \alpha_{-i} + (K_1 - K_2) \alpha_{-i}], \quad (6)$$

где I_1, I_2 – эксплуатационные расходы по исходному и более надежному варианту, включающие в себя затраты на ремонты будущих лет и материальный ущерб в результате отказа системы, руб./год; K_1, K_2 – капитальные вложения в те же варианты, руб.

Экономический эффект по системе определяется как сумма отдельных эффектов по ее элементам. Вследствие малого удельного веса в приведенных затратах ΔZ не учитывается удельная стоимость основных и оборотных фондов при производстве ремонтных работ. Если сумма ΔZ оказывается отрицательной величиной, то экономически повышение надежности системы нецелесообразно, и в тех случаях, когда это повышение не является необходимым по соображениям технологическим, санитарным и другим, осуществлять его не следует.

После выбора наиболее эффективных вариантов энергосберегающих мероприятий, все мероприятия по энергосбережению ранжируются по прибыльности. Определяющим фактором является коэффициент чистой существующей прибыли – отношение чистой существующей прибыли к общим инвестициям [2]. Ранжирование энергосберегающих мероприятий показано на примере образовательного учреждения (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика энергосберегающих мероприятий

№ п/п	Энергосберегающие мероприятия	Общий объем инвестиций, тыс.руб.	Сбереженная за год энергия, кВт·ч/год	Годовое чистое сбережение, тыс.руб./год	Срок окупаемости инвестиций, лет	Коэфф-т чистой существующей прибыли
1	Внедрение системы автоматического управления подачи тепловой энергии	450	81000	213	2,1	2,32
2	Уплотнение окон	300	80000	240	1,3	2,28
3	Изоляция пола чердака	375	17800	54	6,9	0,79
4	Изоляция труб, задвижек и т.д.	285	17700	54	5,3	0,73
5	Балансирование системы отопления и термостатических вентилей	675	53800	162	4,2	0,69
6	Утилизация тепла в системах вентиляции	675	37000	96	7,8	0,17

При разработке энергосберегающих мероприятий у потребителя не стоит забывать и о том, что теплотрассы, доставляющие теплоноситель, находятся зачастую в крайне изношенном состоянии. По оценкам экспертов, потери по теплотрассе превышают 20%. Тщательный анализ состояния тепловых сетей коммунально-бытового теплоснабжения в Саратовской области показал, что порядка 50% сетей жилищно-коммунального хозяйства и до 60% тепловых сетей абонентских вводов требуют капитального ремонта.

Протяженность тепловых сетей Саратовской области составляет 1779,4 км, замене подлежит 217 км, что составляет 12% от общей протяженности тепловых сетей. Без тепловой изоляции эксплуатируются 35 км магистральных сетей (2%).

Общая протяженность магистральных трубопроводов тепловых сетей СТС – 183 км. Около 50% тепловых сетей эксплуатируются более 20 лет (порядка 100 км). 161 км имеют срок эксплуатации 10 лет, что составляет 88% от общей протяженности теплотрасс. При этом 12% трубопроводов эксплуатируются свыше 30 лет (рис. 4).

Исходя из фактического срока службы трубопроводов тепловых сетей с минераловатной изоляцией (6-7 лет), в год требуется перекладка 16-17 км трубопроводов. В каждом конкретном случае, рассматривая теплоснабжение отдельных абонентов, необходимо величину перекадок определять с учетом надежности теплоподводящей магистрали. Количество пе-

рекладок должно обеспечить заданный уровень надежности сети. Так, например, сокращение объема перекладок в 2 раза при существующем ограничении финансирования ведет к увеличению потока отказов в 6,06 раза [6].

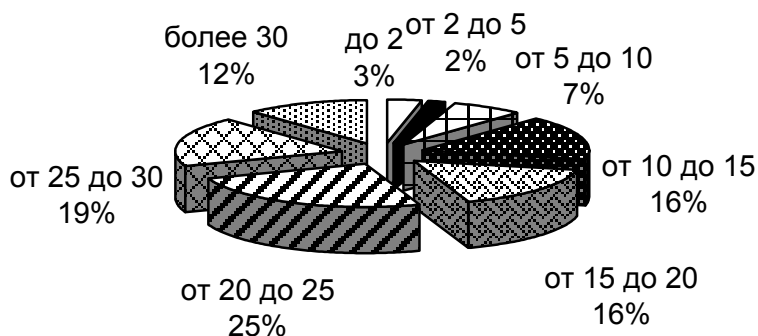


Рис. 4. Сроки эксплуатации магистральных трубопроводов тепловых сетей СТС

Учитывая состояние тепловых сетей, выбор оптимального источника теплоснабжения с учетом надежности подводящей магистрали становится актуальной задачей. В качестве базисного варианта примем теплоснабжение потребителя от котельной и определим, является ли исходный вариант теплоснабжения эффективным, т.е. удовлетворяет ли наложенным ограничениям и условиям оптимальности. Введём понятие коэффициента загрузки котельной (КЗК), как процентного отношения реальной тепловой нагрузки котельной к её установленной тепловой мощности. Сравнение вариантов следует начинать с проверки выполнения условия $KЗК < 80\%$, если котельная загружена на большую величину, то вложение средств в реконструкцию котельной следует ориентировать на повышение тепловой мощности (новое оборудование с более высоким КПД). Далее следует произвести проверку, попадает ли данный потребитель в оптимальный радиус действия источника, то есть сравнить длину магистрального подключения потребителя и оптимальной длины трубопровода для источника теплоснабжения данной мощности. Зависимость удельных приведенных затрат от мощности котельной установки выражается уравнением:

$$z_{кв} = \left(\frac{A}{Q} + B \right) E + \frac{I}{Q}, \quad (7)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от типа котлоагрегата и вида сжигаемого топлива; Q – установленная производительность котельной, кВт; E – коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год; I – эксплуатационные расходы, включающие топливную составляющую, расходы на водоподготовку, обслуживание, управление и т.д., руб.

Зависимость удельных приведенных затрат в тепловые сети от теплоплотности снабжаемого участка описывается формулой:

$$z_{mc} = \frac{1,671 Q^{0,16} U_c U_n}{q^{0,8}}, \quad (8)$$

где q – теплоплотность застройки, кВт/га; U_n – коэффициент, зависящий от типа и условий прокладки теплосети; U_c – коэффициент, учитывающий зависимость удельного расхода воды в сети от системы теплоснабжения, метода регулирования отпуска теплоты и соотношения нагрузок горячего водоснабжения и отопления.

Дифференцируя в частных производных функцию суммы приведенных затрат на производство и транспорт теплоты по Q и приравнявая производную к нулю, получим

мощность котельной, эквивалентную оптимальной, для района теплоснабжения с заданной теплоплотностью:

$$Q = \left[\frac{(0,12A + A_1)q^{0,8}}{0,269Y_c Y_n} \right]^{0,86}, \quad (9)$$

где A_1 – удельные годовые эксплуатационные затраты, руб./кВт·ч.

Анализ формулы показывает, что оптимальная мощность увеличивается с ростом теплоплотности. Применение открытой системы теплоснабжения и бесканальной прокладки также повышает оптимальную мощность источника.

Чтобы определить оптимальный радиус теплоснабжения от данного источника, рассмотрим тепловой район в виде квадрата с источником теплоты, размещенным посередине одной из сторон. Тогда теплоплотность можно связать с длиной главной магистрали L формулой:

$$q = 22500 \frac{Q}{L^2}, \quad (10)$$

где L – длина главной магистрали, м.

Подставив это выражение в формулу (8), получим приведенные затраты в тепловые сети в зависимости от радиуса теплоснабжения:

$$Z_{mc} = \frac{3,674 \times 10^{-4} L^{1,6}}{Q^{0,64}}. \quad (11)$$

С ростом радиуса теплоснабжения приведенные затраты в теплосеть увеличиваются при постоянной тепловой мощности источника. Приведенные затраты на выработку теплоты котельной определенной мощности, приходящиеся на единицу длины радиуса теплоснабжения, будут снижаться с ростом радиуса и, наоборот, затраты на транспорт теплоносителя будут возрастать.

В общем виде затраты для комплекса «источник – тепловые сети», т.е. приведенные затраты источника определенной мощности на единицу длины магистрали составят:

$$\sum Z = \frac{k_{кв} E + A_1}{L} + \frac{3,674 \times 10^{-4} L^{0,6} Y_c Y_n}{Q^{0,64}}, \quad (12)$$

где $k_{кв}$ – капитальные вложения в котельную, приходящиеся на единицу тепловой мощности, руб./кВт.

Дифференцируя выражение по L и приравнявая производную нулю, получим выражение оптимального радиуса теплоснабжения от источника данной мощности:

$$L_{opt} = \left[\frac{(k_{кв} E + A_1) \cdot Q^{0,64}}{5,878 \cdot 10^{-4} Y_c Y_n} \right]^{0,625}. \quad (13)$$

При этом длина главной магистрали – величина, которая должна ограничиваться вероятностным показателем отключения потребителей от тепловой сети:

$$q_{отк} = 1 - e^{-\sum \omega_i \xi_{n_{отк}}}. \quad (14)$$

В случае существующей застройки необходимо оценить фактическую эксплуатационную надежность сети, чтобы определить ее состояние.

ξ – запас надежности при $tn \leq t_{нр}$; $n_{отк}$ – длительность стояния расчетных наружных температур, при которых отказ трубопровода угрожает живучести системы, ч; ω_i – величина параметра потока отказов, 1/год.

Поток отказов в расчете на 1 км двухтрубной тепловой сети, проложенной в непроходном подземном канале, зависит от возраста трубы:

$$\omega' = 0,00003 \cdot k_c \cdot d^{0,208}, \quad (15)$$

где k_c – коэффициент старения; d – диаметр трубопровода, м; ξ – запас надежности при $tn \leq tnr$; $n_{отк}$ – длительность стояния наружных температур, ч.

Таким образом, зная возраст конкретной магистрали, нужно вычислять поток отказов для данного участка с целью определения его надежности. При превышении допустимого параметра потока отказов в n раз требуется введение коэффициента, учитывающего процент ежегодных переключений трубопроводов сети для достижения нормативного уровня потока отказов, который станет экономически вариантной величиной уравнения для расчета затрат в реконструкцию тепловых сетей.

$$\omega_p^n \cdot \ell = \omega^\phi (\ell - \ell_n) + \omega_n^n \cdot \ell_n, \quad (16)$$

где ω_p^n – расчетная нормативная величина потока отказов системы, 1/год; ω^ϕ – фактическая величина потока отказов, определенная по статистическим данным эксплуатирующей данную сеть организации, 1/год; ℓ – длина трубопровода, м; ℓ_n – длина переключаемого участка трубопровода, м; ω_n^n – нормативный поток отказов нового участка трубопровода, 1/год.

Отсюда, выражая ℓ_n , получим:

$$\ell_n = \frac{\ell (\omega_p^n - \omega^\phi)}{(\omega_n^n - \omega^\phi)}. \quad (17)$$

Таким образом, можно рассчитать, какую длину проблемных участков теплотрассы, подверженных наибольшей опасности (затопление, повреждение изоляции, опасность механических повреждений и т.п.), нужно заменить, чтобы достичь нормативного уровня потока отказов. Это позволит увеличить надежность тепловой сети и, следовательно, уменьшить предполагаемый ущерб от возможных аварий на данном участке трубопровода.

Если тепловые сети имеют недостаточный показатель надежности, то потребитель не застрахован от перебоев в теплоснабжении, и при аварийных отказах системы возникает значительный ущерб, оценить который можно по формуле:

$$V = \sum \Delta Q_j \omega_i \tau_s C_y, \quad (18)$$

где C_y – удельная стоимость ущерба, руб./кВт.ч; τ_s – время восстановления участка тепловой сети; $\sum \Delta Q_j \omega_i$ – суммарная отклоняемая тепловая мощность от сети в год.

Если организация не имеет возможности выделить средства на переключку расчетного количества трубопроводов за один год, то данная задача может быть решена в динамике определенного временного периода. Расчет надежности системы в этом случае будет производиться с учетом того, что увеличение значения параметра потока отказов как существующих, так и вновь уложенных трубопроводов принимается в размере 0,0015 1/год·км. Таким образом, можно повышать уровень надежности в течение определенного количества лет. Расчетная величина возможного ущерба при этом будет изменяться с уменьшением уровня потока отказов системы.

Только решенные в комплексе, задачи повышения эффективности систем теплоснабжения с учетом энергосберегающих мероприятий позволят улучшить качество теплоснабжения потребителей, сократить непроизводительные расходы и потери теплоты и оптимизировать режимы теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о проведении энергетических обследований организаций / Минтопэнерго РФ. М., 1997. 96 с.

2. Атоян В.Р., Малая Э.М., Колесников Е.В. Типовая методика комплексных энергетических обследований (энергоаудит) предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Саратов, 1998. 57 с.

3. Разработка нормативной системы активизации применения энергосберегающих решений для источников и систем коммунально-бытового теплоснабжения / Отчет о НИР; № Гр 01200108707; руководитель Атоян В.Р., Саратов, 2002. 103 с.

4. Малая Э.М., Сергеева С.А. Проблемы энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: Сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2004. С.136-140.

5. Гришкова А.В., Красовский Б.М., Полетаев И.А. О снижении надежности теплоснабжения при недостатке средств на перекладку тепловых сетей // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Материалы IV Рос. науч.-техн. конф.: В 2 т. Ульяновск: УлГТУ, 2003. Т.2. С.197-198.

6. Труды выездного заседания президиума ЖКА РФ 2-3 октября 1996 г. Саратов, 1997. С.67-79.

Малая Элла Максовна –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета

Сергеева Светлана Анатольевна –

ассистент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета

УДК 536.244:532.529.5

Ю.Я. Печенегов

**ТЕПЛООБМЕН ПРИ ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ГАЗА
С ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА**

Анализируются недостатки инженерных методов расчета теплообмена, основанных на использовании α -модели. Изложены основы нового численного метода расчета теплообмена газозвеси, который является простым в реализации, обеспечивает достаточную точность и рекомендуется для инженерных приложений.

Y.J. Pechenegov

**HEAT EXCHANGE AT CURRENT IN A PIPE OF A TURBULENT STREAM OF GAS
WITH THE WEIGHED PARTICLES OF A FIRM MATERIAL**

Lacks of engineering methods of calculation of the heat exchange, based on use α -models are analyzed. Bases of a new numerical method of calculation of heat exchange gas-solid which is simple in realization are stated, provides sufficient accuracy and are recommended for engineering appendices.

В инженерной практике для расчетов процессов переноса в турбулентных потоках используются полуэмпирические или чисто эмпирические уравнения подобия. Точность их, как правило, невелика. Например, известная зависимость Диттуса-Болтера для теплообмена в трубах $Nu_r = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$ при некоторых сочетаниях чисел Re и Pr может давать ошибки в 30% и более [1].

По-видимому, достигнутая к настоящему времени точность описания уравнениями подобия процессов переноса близка к предельно возможной как из-за стохастического характера процессов в турбулентных потоках, так и из-за органических недостатков, присущих методу теплового подобия. Уравнения подобия основываются на одномерном описании процессов переноса и использовании в качестве определяемой характеристики соответствующего коэффициента интенсивности переноса. Для процессов переноса теплоты – это коэффициент теплообмена α , который входит в так называемый закон Ньютона-Рихмана

$$Q = \alpha \cdot \Delta t F \quad (1)$$

После работ Грэтца в 1883 г. и позже Нуссельта и Латцко, в которых было показано постоянство α за участком стабилизации в трубах, коэффициенту теплообмена приписывались свойства некоего физического параметра. Теория теплообмена и расчетные методы строились на основе положения $\alpha = \text{const}$. Сейчас очевидным становится то обстоятельство, что α не может считаться фундаментальным параметром, так как оказывается зависимым от многих факторов и, в частности, от Δt . По этой причине закон (1) при высоких температурах становится нелинейным. В условиях переменности физических свойств теплоносителя вместе с температурой и зависящей от этих свойств структуры течения не может быть достигнуто и постоянство α по длине канала. Серьезные затруднения в использовании α возникают при описании нестационарного теплообмена [2] и в условиях существенной неизотермичности поверхностей [3,4]. В [4,5] указывается, что при переменных по длине канала температурных условиях на стенке использование закона (1), а следовательно и коэффициента теплообмена, вообще неприемлемо. Понятие об α никак не способствует пониманию механизма переноса теплоты.

Отметим, что в сущности своей уравнения подобия, описывающие теплообмен, не могут не быть приближенными по той причине, что оперируют осредненными значениями физических свойств и режимных параметров теплоносителей. Ясно, что средние значения λ , μ , c_p , ρ , ω , t и так далее могут быть одинаковыми, а распределение локальных значений этих параметров по длине и в сечениях может быть различным, а значит, будет отличаться и теплообмен этих потоков. Это вынуждает строить свои уравнения подобия для каждого вида граничных и начальных условий. Переменность физических свойств теплоносителей при изменении температуры делает, в общем случае, невозможным строгое подобие процессов течения и теплообмена.

К настоящему времени получено очень большое количество уравнений подобия для разных теплоносителей и условий течения. Даже для одних и тех же теплоносителей и условий в литературе можно найти множество формул, которые далеко не всегда согласуются между собой. Это обстоятельство затрудняет расчетную практику.

Актуальной является задача разработки новых методов расчета теплообмена, прямо учитывающих реальную структуру течения и переменность физических свойств теплоносителей. Такими методами могут стать численные методы, основанные на простых модельных представлениях.

Трудности описания теплообмена на основе α -модели наиболее сильно проявляются для неоднородных и многофазных систем с различием температур компонентов. К таким системам относятся потоки газозвеси, которые используются как рабочие тела и технологические среды в энергетике, химической промышленности и других областях техники. Если размер частиц твердого материала, транспортируемых потоком газа, превышает 10 мкм, то в

зависимости от температурных условий теплообмена такого потока со стенкой канала разность температур фаз в сечениях потока может составлять десятки и сотни градусов [6]. При этом возникает неопределенность выбора характерной температуры потока при вычислении коэффициента теплообмена. В известных опытных работах по изучению теплообмена газозвесей авторы принимали за характерную температуру потока калориметрическую, средне-взвешенную температуру компонентов, температуру несущего газа, а также определяли ее по показаниям незащищенных термопар. Такой разницей в выборе характерной температуры осложняет обобщение опытных данных разных авторов и, по существу, дезориентирует расчетную практику. Можно констатировать, что опытное изучение теплообмена газозвеси и построение обобщенных уравнений подобия встречает большие трудности. Поэтому роль теоретических расчетных методов, основанных на реальных физических моделях и доступных для широкого применения в инженерных приложениях, здесь очень важна.

Ниже излагаются основы инженерного численного метода расчета теплообмена газозвеси, обеспечивающего широкий охват всей совокупности влияющих факторов, что в экспериментах осуществить сложно.

Метод основывается на следующих физических связях и представлениях.

Распределение концентрации твердых частиц в сечениях потока принимается равномерным. Считается, что наличие твердых частиц не изменяет эпюру скорости ω_x и турбулентную структуру несущей среды. Эпюра аксиальной скорости u_x твердых частиц в сечениях потока определяется через фактор скоростного скольжения $\varphi_v = u_x / \omega_x$, который принимается постоянным по радиусу R трубы. Контактный теплообмен при соударении частиц со стенкой из-за малости не учитывается. Принимается, что в пристенной зоне при $y \leq \delta_{v,n}$ теплота распространяется только путем молекулярной теплопроводности газовой фазы. В области $y \geq \delta_{v,n}$ теплота дополнительно переносится за счет турбулентной диффузии газа и с твердыми частицами, перемещающимися в радиальном направлении. При этом плотность теплового потока

$$q_n = q + q_{n.m} = (\lambda + \lambda_{m\sigma}) \frac{dt_z}{dy} + \lambda_{n.m} \frac{dt_m}{dy} . \quad (2)$$

Для плотности теплового потока, обусловленного поперечным перемещением частиц, на основании модифицированной аналогии Рейнольдса [7] запишем

$$q_{n.m} = \sigma_{n.m} c_m \frac{dt_m}{du_x} . \quad (3)$$

С учетом соотношений

$$\frac{\sigma_{n.m}}{\sigma} = \frac{\zeta_{n.m}}{\zeta} ,$$

$$\sigma = \frac{(\mu + \mu_{m\sigma}) d\omega_x}{dy} = \frac{\mu_{эф} d\omega_x}{dy} ,$$

$$u_x = \varphi_v \omega_x ,$$

вместо (3) имеем

$$q_{n.m} = \frac{\zeta_{n.m} c_m \mu_{эф}}{\zeta \varphi_v} \frac{dt_m}{dy} . \quad (4)$$

Отсюда для кажущегося коэффициента теплопроводности за счет радиальных перемещений твердых частиц следует

$$\lambda_{n.m} = \frac{\zeta_{n.m} c_m \mu_{эф}}{\zeta \varphi_v} . \quad (5)$$

Так как в турбулентном ядре потока $\mu_{m\sigma} \gg \mu$, то приняв $\mu_{эф} = \mu_{m\sigma}$, получим

$$\frac{\lambda_{n,m}}{\lambda_{m\bar{o}}} = \frac{\zeta_{n,m}}{\zeta} \frac{c_m}{c_p} \frac{Pr_{m\bar{o}}}{\Phi_v}, \quad (6)$$

где $\zeta_{n,m}/\zeta$ и Φ_v определяются по обобщенным зависимостям, полученным в [8]. Согласно [9], коэффициенты турбулентного переноса в газовой фазе

$$\lambda_{m\bar{o}} = \frac{c_p \mu_{m\bar{o}}}{Pr_{m\bar{o}}}, \quad (7)$$

$$\mu_{m\bar{o}} = 0,9 l^2 D_1 \sqrt{\zeta} \left(\frac{\rho \omega_m}{R} \right) \left(\frac{R}{y} \right)^{1-0,9\sqrt{\zeta}}, \quad (8)$$

где $l = 0,16R(y/R)^{0,6}$; $D_1 = \left[1 - \exp\left(-\frac{y\sqrt{\sigma_{cm}\rho_{cm}}}{26\mu_{cm}} \right) \right]^2$; $\zeta = (1,82 \lg Re - 1,64)^{-2}$;

$$\omega_m = \omega / (1 - 0,845 / \lg Re); Pr_{m\bar{o}} = 1,2 - 0,45 \exp(-1,5 \cdot 10^{-5} Re); \sigma_{cm} = \zeta \rho \omega^2 / 8.$$

Полагая, что размер используемых твердых частиц $d_m \leq 2\delta_{e,n}$, распределение плотности теплового потока по радиусу трубы примем следующим:

$$\left. \begin{aligned} q_n &= q_{n,cm} \text{ при } y = 0 \div d_m/2; \\ q_n &= q_{n,cm} \left(1 - \frac{y-0,5d_m}{R-0,5d_m} \right) \text{ при } y = d_m/2 \div R. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

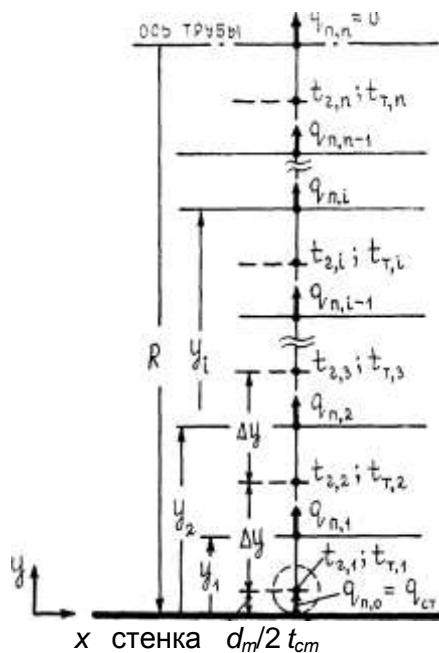


Рис. 1. Расчетная схема

Можно полагать, что для газозвеси принятый линейный характер распределения q_n по y достаточно близок к действительности.

Приведенная на рис. 1 расчетная схема предусматривает разбивку потока на элементарные концентрические кольцевые слои. Толщина первого (возле стенки) слоя $y_1 = 0,5(\Delta y + d_m)$, а последующих $\Delta y = (R - 0,5d_m)/(n - 0,5)$, где n – число слоев.

Для стационарного режима запишем уравнение теплового баланса i -го слоя в виде

$$2\pi \Delta x [q_{n,i-1}(R - y_{i-1}) - q_{n,i}(R - y_i)] = q_{v,i} V_i, \quad (10)$$

где $q_{v,i}$ – удельная интенсивность объемного теплопоглощения, Вт/м³;

$$q_{v,i} = \alpha_{m,i} F_{m,i} (t_{2,i} - t_{m,i}), \quad (11)$$

где $F_{m,i}$ – удельная (в 1 м³ потока) поверхность твердых частиц в i -м слое,

$$F_{m,i} = \frac{6\rho_i K \Phi^{1,5}}{(d_m \rho_m \Phi_v)}.$$

Совместное рассмотрение уравнений (9) при $y \geq d_m/2$, (10) и (11) приводит к следующему выражению для температуры твердой фазы

$$t_{m,i} = t_{2,i} - \frac{1}{\alpha_{m,i} F_{m,i}} \left(\frac{2q_{cm}}{R - 0,5d_m} \right). \quad (12)$$

Расчеты показывают, что для не очень крупных частиц произведение $\alpha_{m,i} F_{m,i}$ слабо изменяется по радиусу потока. На основании уравнения (12) это позволяет принять

$$\frac{dt_m}{dy} = \frac{dt_z}{dy} \quad (13)$$

Следовательно, вместо (2) можно записать

$$q_{n,i} = \left. \frac{(\lambda_i + \lambda_{m\bar{o},i} + \lambda_{n,m,i}) dt_z}{dy} \right|_i \quad (14)$$

Для принятой расчетной схемы (рис. 1) очевидными являются следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} q_{n,o} &= \frac{\lambda_{cm}}{0,5d_m} (t_{cm} - t_{z,1}) = q_{n,cm}; \\ q_{n,i} &= (\lambda_i + \lambda_{m\bar{o},i} + \lambda_{n,m,i}) \frac{t_{z,i} - t_{z,i+1}}{\Delta y} = q_{n,cm} \left(1 - \frac{y_i - 0,5d_m}{R - 0,5d_m} \right) \end{aligned} \right\}; \quad (15)$$

$$i = 1 \dots n - 1.$$

Выразив уравнения системы (15) через разности температур и затем почленно их сложив, после выполнения действий получим

$$q_{n,cm} = \frac{t_{cm} - t_{z,n}}{\frac{0,5d_m}{\lambda_{cm}} + \Delta y \sum_{i=1}^{n-1} \left(1 - \frac{y_i - 0,5d_m}{R - 0,5d_m} \right) \frac{1}{\lambda_i + \lambda_{m\bar{o},i} + \lambda_{n,m,i}}}, \quad (16)$$

где $t_{z,n}$ принимается равной значению на оси трубы.

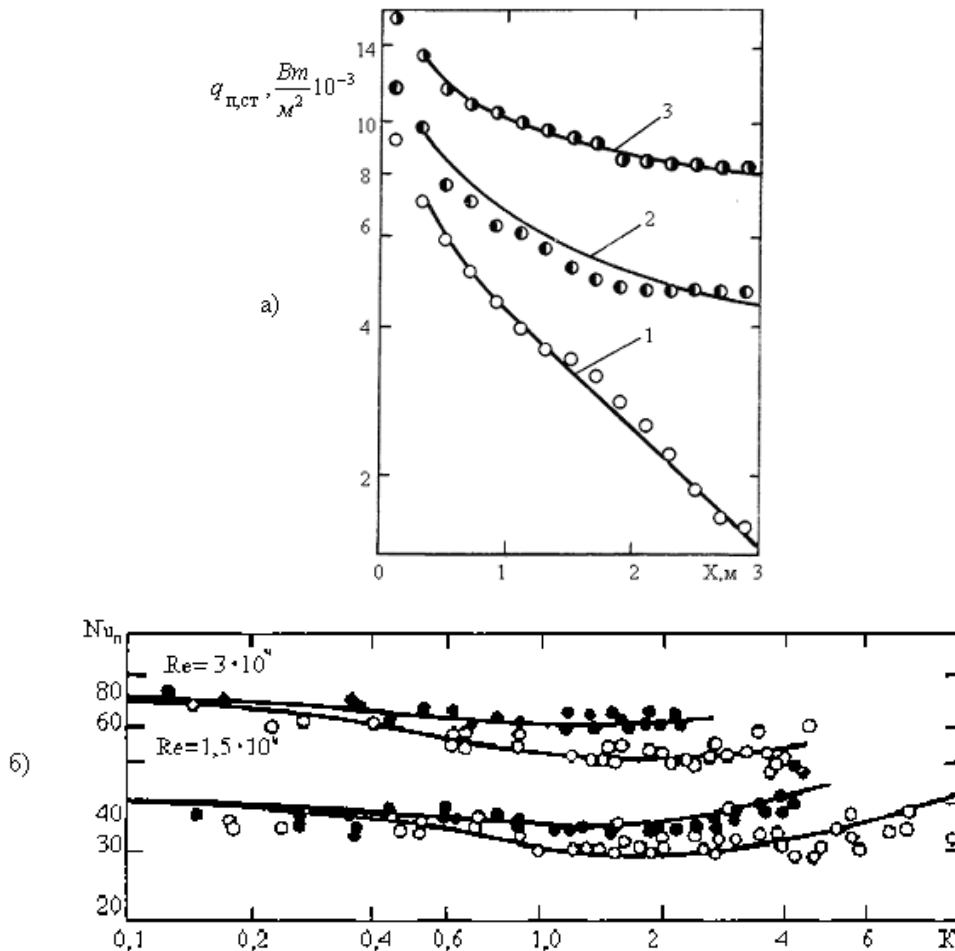


Рис. 2. Сравнение расчетных (линии) и опытных (точки) данных по местному теплообмену: а – опыты [10], $D=13$ мм, воздух-частицы мрамора, $d_m=165$ мкм; 1 – чистый воздух

без частиц, $G=5$ кг/ч, $t_{cm}=390^\circ\text{C}$; 2,3 – газовзвесь; 2 – $G=4,9$ кг/ч, $K=1,97$, $t_{cm}=380^\circ\text{C}$;
 б – опыты [11], $D=18$ мм, $x/D=101,4$; $q_{n,cm}=\text{const}$; воздух-стеклянные шарики;
 $d_m=62$ мкм (темные точки), 200 мкм (светлые точки)

При фиксированном значении $t_{z,n}$ и с учетом зависимостей для $\lambda_{mб,i}$ и $\lambda_{n,m,i}$, формула (16) позволяет вычислять одну из величин $q_{n,cm}$ или t_{cm} при заданной другой.

Алгоритм расчета при граничном условии $t_{cm}=\text{const}$, например, следующий. На первом шаге по x в начале трубы параметры потока вычисляются при условии $t_{z,n}=t_{z,ax}$ (до сечения, где происходит смыкание термического пограничного слоя на оси трубы). После вычисления распределения $t_{z,i}$ (используются зависимости (15)) и $t_{m,i}$ по (12), определяются средние значения температур фаз в сечении и по балансовым связям для газа и твердых частиц находится воспринятая потоком

тепловая мощность $Q_{\Delta x}$ на участке Δx . Длина участка $\Delta x = \frac{Q_{\Delta x}}{\pi R(q'_{n,cm} + q''_{n,cm})}$.

Затем величина $t_{z,n}$ получает приращение и аналогично выполняется расчет последующего и далее всех других участков.

Сравнение результатов расчетов по предложенной математической модели с экспериментальными данными разных авторов показало хорошее соответствие модели реальным условиям теплопереноса вплоть до $K=50$ и d_m до 1200 мкм при тепловых граничных условиях $t_{cm}=\text{const}$ и $q_{cm}=\text{const}$. В большинстве случаев расхождение не превышало погрешности эксперимента. Установлено, что увеличение числа слоев расчетной сетки свыше 20 не повышает точность результата расчета.

В качестве иллюстрации на рис. 2 представлено сравнение расчетных и опытных данных по местному теплообмену, а на рис. 3 – по среднему теплообмену газовзвеси.

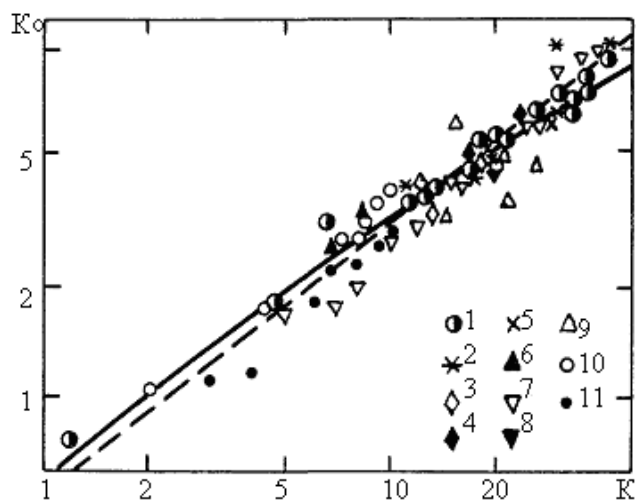


Рис. 3. Сравнение расчета (сплошная линия) с опытными данными разных авторов: штриховая линия по обобщенному уравнению [12];

- 1 – Носов, Сыромятников, $D=25$ мм, $d_m=10,3$ мкм, графит; 2÷6 – Горбис, Бахтиозин, графит;
- 2 – $D=25$ мм, $d_m=400$ мкм; 3 – $D=33$ мм, $d_m=400$ мкм; 4 – $D=25$ мм, $d_m=770$ мкм;
- 5 – $D=25$ мм, $d_m=1160$ мкм; 6 – $D=20$ мм, $d_m=150$ мкм; 7,8 – Мирзоева, $D=40$ мм, алюмосиликат;
- 7 – $d_m=340$ мкм; 8 – $d_m=190$ мкм; 9 – Данзигер, $D=27,5$ мм, $d_m=50$ мкм, алюмосиликат;
- 10-11 – Фарбар и Дипью, $D=17$ мм, стеклянные шарики; 10 – $d_m=30$ мкм; 11 – $d_m=70$ мкм

$$Ko = \left(\frac{Nu_n}{Nu_r} - 1 \right) Re^{0,3} \left(\frac{D}{d_r} \right)^{-0,427} \left(\frac{c_r}{c_p} \right)^{-1}$$

Список обозначений:

x и y – продольная и поперечная координаты, м; $\delta_{e,n}$ – толщина вязкого подслоя, м; c_p и c_m – теплоемкость газа и частиц, Дж/(кг·К); D и d_m – диаметры трубы и частиц, м; ρ и ρ_m – плотность газа и частиц, кг/м³; α_m – коэффициент межфазного теплообмена, Вт/(м²·К); t_g и t_m – температуры газа и частиц, °С; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); q – плотность теплового потока, Вт/м²; σ – касательное напряжение, Н/м²; ζ – коэффициент сопротивления; μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; l – длина пути смешения, м; D_l – демпфирующий фактор; ω – среднерасходная скорость газа, м/с; ω – скорость газа на оси трубы, м/с; V – объем, м³; F_m – площадь поверхности, м²; G – расход газа, кг/ч; K – расходная массовая концентрация частиц, (кг/ч)/(кг/ч); Φ – геометрический фактор формы частиц; Re – число Рейнольдса для несущей фазы; Nu – число Нуссельта; Pr – число Прандтля газа.

Индексы: $вх$ – вход в трубу; $'$ и $''$ – вход и выход участка; $г$ – газовая фаза; $т$ – твердая фаза; $тб$ – турбулентный; $эф$ – эффективная величина; $ст$ – параметр на стенке; n – поток газозвеси; i – порядковый номер кольцевого слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1974. 408 с.
2. Дрейцер Г.А., Кузьминов В.А. Расчет разогрева и охлаждения трубопроводов. М.: Машиностроение, 1977. 128 с.
3. Дорфман А.Ш. Методы расчета теплоотдачи неизотермических поверхностей // Промышленная теплотехника. 1982. Т.4. № 3. С.17-33.
4. Лыков А.В. Теплообмен: Справочник. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1978. 480 с.
5. Кэйс В.М. Конвективный тепло-и массообмен: Пер. с англ. М.: Энергия, 1972. 448 с.
6. Печенегов Ю.Я., Косова О.Ю. Теплообмен при течении в трубе газозвеси с различными размерами твердых частиц и их скорости на входе // Труды третьей Рос. нац. конф. по теплообмену. Т.5: Дисперсные потоки и пористые среды. М.: Изд-во МЭИ, 2002. С.291-293.
7. Горбис З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков. М.: Энергия, 1970. 424 с.
8. Печенегов Ю.Я. К вопросу о гидравлическом сопротивлении при течении в трубе изотермического и неизотермического потоков газозвеси // Журнал прикладной химии. 1987. № 4. С.802-807.
9. Печенегов Ю.Я. Инженерный метод численного расчета теплообмена и сопротивления трения в пограничном слое. Ламинарное и турбулентное течения в трубе // Инженерно-физический журнал. 1978. Т.52. № 2. С.190-199.
10. Каширский В.Г., Печенегов Ю.Я. Экспериментальное исследование теплообмена к потоку газозвеси с инертной и разлагающейся твердыми фазами // Инженерно-физический журнал. 1972. Т.23. № 4. С.646-649.
11. Wahi M.K. Heat transfer to flowing gas-solid mixtures // Trans. ASME, C. 1977. 99. № 1. P.145-148.
12. Носов В.С., Сыромятников Н.И. Основные зависимости теплоотдачи тонкодисперсных потоков // Доклады АН СССР. 1965. Вып.163. № 3. С.500-503.

Печенегов Юрий Яковлевич –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств»

УДК 502:338(075.8)

А.А. Попов, С.А. Андрющенко, А.И. Попов

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА

Предложен методический подход, позволяющий выполнить экономическую оценку теплового загрязнения окружающей среды, обосновать соответствующие платежи за тепловое загрязнение и их использование на снижение негативного воздействия на окружающую среду, экономию и воспроизводство природных ресурсов, а также предупреждение глобального изменения климата.

A.A. Popov, S.A. Andrjushenko, A.I. Popov

ECONOMICAL ESTIMATION OF THE HEAT POLLUTION AS AN INSTRUMENT OF THE ECOLOGICAL AUDITING

The article presents a new method in approach of economical estimation of the environment, to verify certain payments for heat pollution and how to use it in the way of decreasing its negative influence on the environment, economy and the life circle in the nature, and in global climate change prevention.

Тепловое загрязнение является специфическим видом воздействия на окружающую среду, которое в локальном плане оказывает негативное воздействие на флору и фауну, в частности на трофическую цепь обитателей водоемов, что ведет к снижению рыбных запасов и ухудшению качества питьевой воды.

В глобальном плане тепловое загрязнение сопутствует выбросам веществ, вызывающих парниковый эффект в атмосфере. По оценкам экспертов ООН, антропогенный парниковый эффект на 57% обусловлен добычей топлива и производством энергии, на 20% – промышленным производством, не связанным с энергетическим циклом, но потребляющим топливо, на 9% – исчезновением лесов, на 14% – сельским хозяйством. России принадлежит ключевая роль в поддержании глобальных функций биосферы в связи с наличием обширных территорий, занятых различными природными экосистемами, и высоким уровнем потребления топлива.

Для создания современной системы управления окружающей средой необходимо среди прочих условий применение общепринятых в мировой практике соответствующих процедур и, в частности, экологического аудита, это же будет содействовать созданию привлекательного инвестиционного климата в России. Вместе с тем, в реальных услови-

ях, экологический аудит, особенно в части экономической оценки теплового загрязнения, находит очень слабое применение, несмотря на ряд причин и факторов, показывающих необходимость его использования.

Для оценки негативного воздействия теплового загрязнения необходимо учитывать его особенности, заключающиеся в специфических свойствах энергии и теплоты при их взаимодействии с окружающей средой, создающей эти специфические свойства. Поэтому экономическая оценка теплового загрязнения, по нашему мнению, должна основываться на применении эксергетического подхода к решению экологических задач.

Перспективность такого подхода в значительной мере обусловлена тем, что показатель эксергии является единственным среди термодинамических (и физических) понятий, в определение которого входят окружающая среда и окружение (внешние границы и их характеристики) технической системы. Этот показатель позволяет учесть тот факт, что энергия в зависимости от внешних условий, от параметров окружающей среды может иметь разную ценность для практического использования и разное воздействие на окружающую среду. Это дает возможность и позволяет использовать показатель эксергии для оценки воздействия таких систем на окружение (на окружающую среду). В этом плане выявляется определенная аналогия. Если ныне действующие экономические механизмы охраны окружающей среды за химическое загрязнение основаны на учете токсичности загрязняющих веществ, для эколого-энергетического аудита в большей степени должна использоваться физическая эксергия веществ и рабочих тел.

Пример расчета эксергетических потерь приведен в таблице.

Сравнение потерь энергии, рассчитанных классическим способом, и эксергетических потерь, характеризующих воздействие на окружающую среду

Источник потери тепла	Температура источника потерь, °С	Потери энергии, ГДж/год	Эксергетические потери, ГДж/год
Факел на месторождении нефти	700	$111,8 \times 10^3$	$79,3 \times 10^3$
Теплообменник подогрева жидкости	50	315,5	39,12
Уходящие газы отопительной котельной	106	$7,86 \times 10^3$	$1,99 \times 10^3$
Тепловые потери от ограждающих поверхностей	60	$6,14 \times 10^3$	$0,92 \times 10^3$

Ключевым инструментом эколого-экономического механизма энергосбережения и охраны окружающей среды должно быть применение нормативов платы за тепловое загрязнение. Принцип платности негативного воздействия на окружающую среду, в том числе теплового загрязнения, зафиксирован в статье 16 Закона «Об охране окружающей среды». По нашему мнению, стоимостная оценка теплового загрязнения соответствует воспроизводственному подходу и позволяет сопоставлять затраты на восстановление природных ресурсов с ущербом природной среде, предотвращенным с помощью этих затрат. Кроме того, денежная оценка позволяет интегрировать объемы разных видов ущерба.

Как показывают наши исследования, нормативы должны быть дифференцированы как по регионам, так и по видам потребителей. Региональная дифференциация необходима, поскольку тепловое загрязнение оказывает разное воздействие на природную среду и здоровье человека в регионах с разным уровнем антропогенной нагрузки и разным уровнем затрат на

возмещение ущерба природной среде. Отраслевая дифференциация норматива необходима в связи с различиями в побочных эффектах теплового загрязнения.

В данной работе предлагается рассчитывать нормативы в два этапа. На первом этапе рассчитывается базовый региональный норматив, на втором этапе – отраслевые или индивидуальные для конкретного предприятия (объекта). Расчет базового норматива может осуществляться по двум вариантам. Первый вариант – норматив рассчитывается, исходя из потенциальной суммы затрат на мероприятия по снижению теплового загрязнения пропорционально эксергетическим потерям. Второй вариант – норматив рассчитывается пропорционально потребности в затратах на полное восстановление ущерба окружающей среде. Оба варианта предусматривают, что сумма платежей, собранных в соответствии с нормативами, должна покрывать запланированные расходы.

В частности, величина компенсационных затрат, включающих и восстановление природных ресурсов, вызванных негативным воздействием на атмосферу энергетических потерь, представлена в виде:

$$Z_i^{at} = B_{up} \cdot z_{up} + B_{CO_2} \cdot z_{CO_2} + B_{O_2} \cdot z_{O_2} + \sum_{l=1}^{\alpha} P_l \cdot m_l + \sum_{k=1}^{\gamma} R_k \cdot y_k, \quad (1)$$

где B_{up} – потери источника ресурса (топлива), т у.т./год; z_{up} – удельные затраты на воспроизводство источника ресурса (топлива), руб./т у.т.; B_{CO_2} – выбросы в атмосферу диоксида углерода, вызывающие негативное воздействие на глобальное изменение климата, т/год; z_{CO_2} – удельные затраты на компенсацию баланса CO_2 в атмосфере, руб./т CO_2 ; B_{O_2} – дополнительное потребление кислорода из атмосферы, вызванное дополнительным сжиганием топлива и связанное с энергетическими потерями, т/год; z_{O_2} – удельные затраты на компенсацию баланса кислорода в регионе, руб./т O_2 ; P_l – норматив платы за химическое загрязнение атмосферы l -го ингредиента, руб./т; m_l – массовый выброс l -го вещества, определяющего химическое загрязнение, т/год; α – количество ингредиентов веществ, определяющих химическое загрязнение; R_k – частота с учетом вероятности наступления неблагоприятных событий отдаленных последствий, 1/год; y_k – экономический ущерб от энергетического загрязнения атмосферы, вызванный отдаленными последствиями, руб.; γ – количество рассмотренных неблагоприятных событий.

В формуле (1) в качестве удельных затрат на воспроизводство запасов энергетических ресурсов (z_{up}) должны использоваться предельные перспективные цены на источник ресурса. Для определения удельных затрат на компенсацию баланса CO_2 в атмосфере (z_{CO_2}) целесообразно использовать данные о так называемом углеродном кредите. Затраты на компенсацию баланса кислорода в атмосфере рассчитываются в том случае, если они не связаны с поглощением углекислого газа. В случае использования лесопосадок для поглощения углекислого газа, в результате реакции фотосинтеза одновременно выделяется кислород.

Нормативы платы за химическое загрязнение атмосферы рассчитываются в соответствии с официальными документами и коэффициентом индексации. Экономический ущерб от энергетического загрязнения атмосферы с учетом отдаленных последствий необходимо учитывать в соответствии с предложениями ряда известных ученых.

Для предприятия (например, котельной или промышленной установки) потери топлива определим на основе эксергетического подхода как средневзвешенную величину эксергии, отводимой в окружающую среду от разных источников потерь (продуктов сгорания, паропроводов и т.п.).

В работе вводится и обосновывается понятие энерго-экологической или эксергетической нагрузки от предприятия на окружающую среду, определяемой по формуле:

$$E_j = \sum_{i=1}^n m_i e_i, \quad (2)$$

где m_i – массовый расход теплоносителя, кг/год; n – количество энергоносителей на предприятии; e_i – удельная эксергия источника энергетических потерь в окружающую среду, ГДж/кг.

Выразив величину потерь источника ресурса (топлива) (B_{up}) в виде функции эксергетической нагрузки на окружающую среду (E_j) и удельную эксергию источника ресурса (топлива) (e_{up}), подставив (2) в (1), после некоторых преобразований, получаем выражение для определения базового регионального норматива платы за эксергетическое загрязнение:

$$\overline{P}_q^{at} = \frac{\sum_{d=1}^Q \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \left(B_{upj} \cdot z_{upj} + B_{CO_2j} z_{CO_2} + B_{O_2j} \cdot z_{O_2} + \sum_{l=1}^{\alpha} P_l m_l + \sum_{k=1}^{\gamma} R_k \cdot y_k \right)}{\sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T E_j}, \quad (3)$$

где Q – количество видов источника ресурса (топлива), используемого в регионе; T – период времени осуществления компенсационных мероприятий; N – количество рассматриваемых предприятий.

Если рассмотреть период времени, равный одному году $T=1$, один вид топлива $Q=1$, применительно к одному рассмотренному предприятию $N=1$, то выражение (3) будет иметь вид:

$$\overline{P}_q^{at} = \frac{1}{e_{up}} \left(z_{up} + g_{CO_2} \cdot z_{CO_2} + g_{O_2} \cdot z_{O_2} \right) + \frac{\sum_{l=1}^{\alpha} P_l m_l}{E_j} + \frac{\sum_{k=1}^{\gamma} R_k y_k}{E_j}, \quad (4)$$

где g_{CO_2} – удельный выход двуокиси углерода при сжигании топлива; g_{O_2} – удельное потребление кислорода при сжигании топлива в реальных условиях.

Как видно из формул (3) и (4), базовый региональный норматив платы за эксергетическое загрязнение, кроме удельных затрат на воспроизводство источника ресурса (топлива), учитывает многие другие составляющие, определяющие эколого-экономические и социальные потери в обществе. Величина этих потерь зависит от экономических оценок, связанных с негативным воздействием диоксида углерода, потреблением кислорода, химическим загрязнением атмосферы продуктами сгорания топлива и отдаленными негативными последствиями от поступления энергетических потерь в атмосферу. Выражение (3) коррелирует с функцией устойчивого развития, интегрирующей в себе влияние экологических, экономических, социальных и институциональных факторов. С другой стороны, величина P_q в определенной степени характеризует амортизационные отчисления на воспроизводство природного капитала, включающего источник ресурса (топлива), качество (емкость) атмосферы, ее ресурсный состав, возможные глобальные изменения климата, региональные особенности, количество и характеристики оборудования предприятий и риск отдаленных последствий от возмущений, вносимых в природную среду.

Принципиально возможно взимание платы за энергетические потери от каждого предприятия, используя базовый региональный норматив платы и эксергетическую нагрузку на окружающую среду.

Однако расчет эксергетической нагрузки самим предприятием вызывает определенные сложности и трудности. В связи с этим практически более удобно и ясно показать нормативы платы для каждого предприятия с учетом состава источников энергетических потерь (энергетического загрязнения), так называемых индивидуальных нормативов платы (P_{qi}).

Решить эту задачу несложно, используя выражение платы за эксергетические потери.

Взаимосвязь индивидуального для рассматриваемого предприятия (P_{qi}) и базового регионального (\overline{P}_q) нормативов платы выразится соотношением:

$$P_{qi}^{at} = \bar{P}_q^{at} \cdot \frac{E_{200}^{n(am)}}{Q_{200}^{n(am)}} = \bar{P}_q^{at} \frac{\sum_{i=1}^n E_i^{n(am)}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{n(am)}}, \quad (5)$$

где $E_{200}^{n(am)}$ – годовой выход энергетических потерь, на рассматриваемом предприятии рассчитываемый по величине эксергии; $Q_{200}^{n(am)}$ – годовой выход теплоты, отходящей в окружающую среду; n – число источников потерь энергии на предприятии.

Например, применительно к Саратовской области для реальных исходных данных базовый региональный норматив платы изменяется в диапазоне от 137 до 193 руб./ГДж при соответствующем увеличении удельных затрат на компенсацию баланса CO_2 в атмосфере от 0 до 600 руб./т.

Вывод

Разработан метод определения базового регионального норматива платы за энергетическое загрязнение окружающей среды, учитывающий потери ресурса (топлива), воздействие диоксида углерода на глобальное изменение климата и компенсирующие затраты, расход кислорода на сжигание топлива, химическое загрязнение окружающей среды при сжигании топлива, структуру топливопотребления, состав и профиль промышленных и сельскохозяйственных предприятий, темпы энергосбережения и другие факторы и региональные особенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.А., Андриющенко С.А., Попов А.И. Экологический аудит в системе экономической оценки теплового загрязнения окружающей среды // Региональные проблемы управления экономическими и экологическими рисками: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С.18-27.

Попов Алексей Анатольевич –

аспирант кафедры «Менеджмент, коммерция и право»
Саратовского государственного технического университета

Андриющенко Сергей Анатольевич –

доктор экономических наук, член-корр. РЭА,
профессор кафедры «Менеджмент, коммерция и право»
Саратовского государственного технического университета

Попов Анатолий Иванович –

доктор технических наук, профессор кафедры «Менеджмент, коммерция и право»
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.039:621.311.25

П.Д. Славягин, В.А. Хрусталеv

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТВЭЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С ВВЭР-1000

Рассмотрены вопросы совершенствования контроля герметичности твэлов при эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000. Предполагаемая система контроля осуществляется в машине перегрузочной и служит для оперативного определения тепловыделяющей сборки (ТВС), содержащих негерметичные твэлы, в процессе операции транспортирования их при перегрузках топлива. Оценены системные факторы: рост КИУМ, снижение риска, уменьшение дозовых нагрузок на персонал.

P.D. Slavjagin, V.A. Khroustalev

ENHANCING THE HERMETIC CONTROL OF URANIUM FUELS UNDER EXPLOITATION NPS WITH WWER-1000

The article presents the main ways of enhancing the hermetic control of uranium fuels under exploitation NPS with WWER-1000. The system considered in the article is applied to the reloading machine and is meant for finding uranium fuel assemblies, containing non-hermetic fuels in the process of reloading. The following factors are estimated: the growth of yearly operating load capacity factor, the decrease of risk, the decrease of personnel exposure.

Важнейшие вопросы сегодня, решение которых позволяет поднять конкурентоспособность АЭС с ВВЭР – повышение их эксплуатационной безопасности и готовности. Во многом эта двуединая задача определяется качеством и скоростью контроля герметичности оболочек твэлов. Рост качества и объемов контроля твэлов снижает риск возникновения радиационно опасной обстановки в реакторном отделении и на АЭС, снижение времени контроля позволяет сократить сроки простоев блока при совмещенных ремонтах и перегрузках по условиям операций с топливом, и в целом, дает потенциальную возможность достижения более высоких коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ).

Предлагаемая система контроля герметичности оболочек твэлов в машине перегрузочной (СКГО МП) предназначена для оперативного определения ТВС содержащих негерметичные твэлы, в процессе операции транспортирования их при перегрузках топлива. СКГО МП не заменяет КГО оболочек твэлов при проверке негерметичных ТВС на отказ в пеналах штатной системы обнаружения дефектов сборок (СОДС).

Система КГО МП состоит из двух частей – механической и технологической. Коммутация указанных частей осуществляется гибкими шлангами, входящими в состав технологической части СКГО МП (см. рисунок).

Механическая часть (далее – МЧ СКГО МП) включает в себя: барботажный трубопровод с форсункой; пробоотборный трубопровод. Оборудование МЧ СКГО МП размещается на секциях рабочей штанги МП.

Технологическая часть (далее – ТЧ СКГО МП) включает в себя: агрегатную сборку с размещенными в ней блоком подготовки сжатого воздуха, блоком отбора и измерения активности газовой пробы, арматурным блоком и штуцерами линии подачи сжатого воздуха на барботаж и линии подачи газовой пробы в блок изменения активности; блок обработки и передачи данных; устройство управления, обработки и отображения данных.

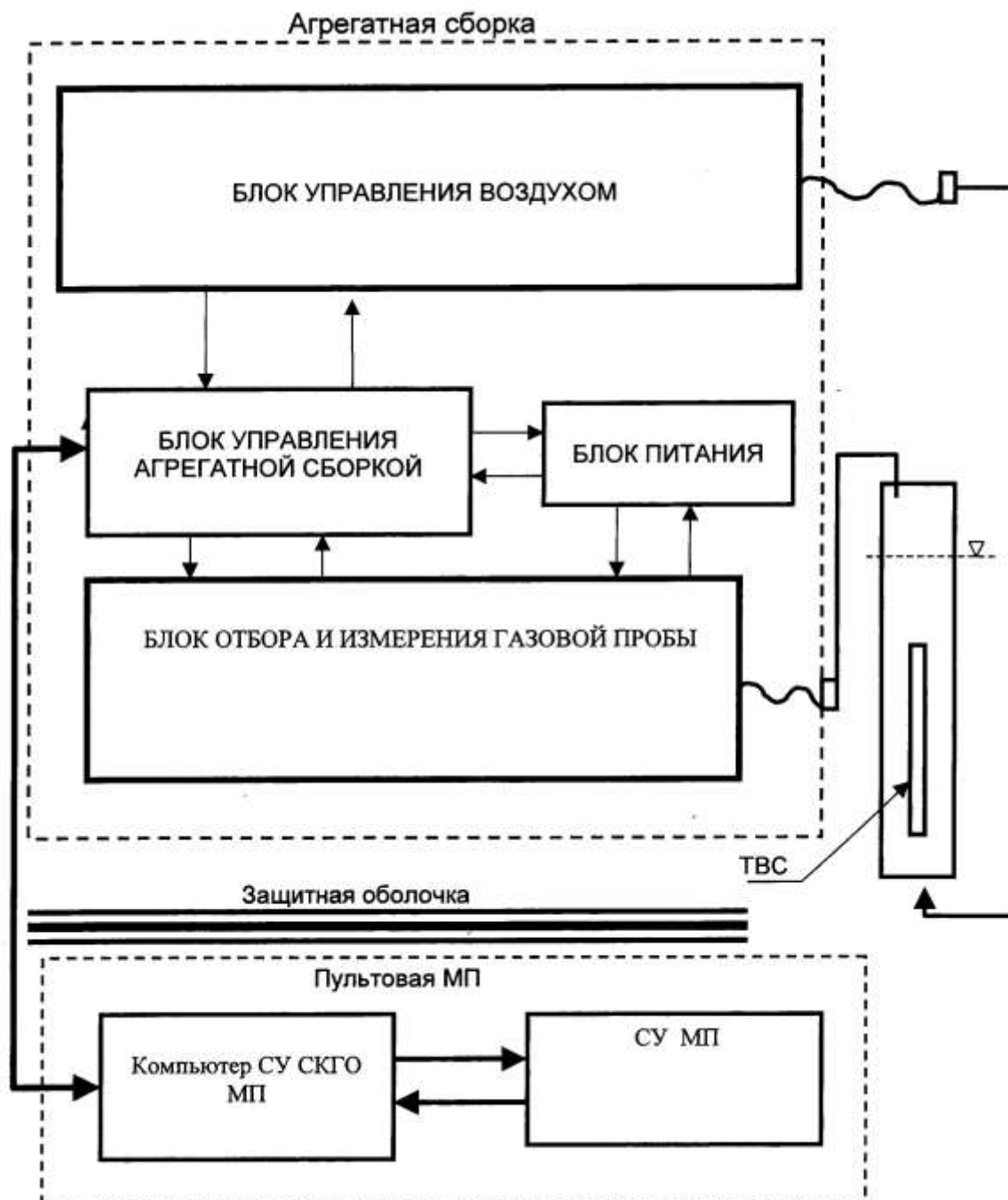
Комплект трубопроводов МЧ СКГО МП обеспечивает: подачу барботажного воздуха под хвостовик ТВС, помещенной в рабочую штангу МП в транспортное положение; подачу газовой пробы в блок контроля.

Блок подготовки сжатого воздуха обеспечивает подачу необходимого количества воздуха для барботирования объема штанги МП.

Блок отбора и измерения активности газовой пробы обеспечивает: забор воздуха из верхней полости рабочей штанги; измерение объемной активности газообразных продуктов деления (Xe_{133}) в газовой пробе.

Блок обработки и передачи данных необходим для: непосредственного управления исполнительными элементами СКГО; обработки результатов измерений; передачи данных в устройство управления, обработки и отображения данных.

Блок управления и отображения информации служит для: управления СКГО в ручном режиме работы; приема и передачи данных и команд от УВК СУМП в автоматическом режиме работы СКГО; представления информации о ходе и результатах контроля оператору СКГО; записи результатов КГО на жестком диске.



Структурная схема СКГО МП

Испытания прототипа установки проводились во время ППР 4-го блока Балаковской АЭС в период с 6 по 8 июня 2001 г. Полностью работа КГО МП осуществлена во время ППР 2002 г.

ТВС извлекалась из активной зоны в рабочую штангу перегрузочной машины и поднималась в транспортное положение. Из-за изменения давления вследствие подъема ТВС продукты деления, накопленные под оболочками негерметичных твэлов, переходили в воду, заполняющую внутреннюю полость рабочей штанги перегрузочной машины. После подъема ТВС в транспортное положение производилось кратковременное барботирование объема рабочей штанги воздухом для сепарации из воды газообразных продуктов деления.

Управление процессом проверки осуществлялось с помощью контролера блока управления нажатием кнопки «Пуск». Проверялась также работа системы в режиме ручного управления нажатием соответствующих кнопок на пульте управления для включения-отключения питания исполнительных механизмов. Кроме того, в системе была предусмотрена возможность ручного открытия соответствующих вентилей.

Воздух подавался из ресивера открытия электромагнитного клапана через воздухопровод (импульсную трубку) в специальное поворотное устройство, расположенное на наружной секции рабочей штанги МП в нижней ее части. Срабатывание поворотного устройства разворачивало соединенную с ним форсунку из транспортного положения на торце наружной секции в положение, при котором конец форсунки располагается на оси рабочей штанги. При этом воздух из выходного отверстия форсунки попадал в воду под помещенную в рабочую штангу ТВС. Воздух, всплывая в виде пузырей, проходил через ТВС, извлекал из воды газообразные продукты деления и скапливался в объеме между средней и внутренней секциями МП выше уровня воды бассейна перегрузки, откуда затем производился отбор газовой пробы.

Отбор газовой пробы производился путем включения воздушного насоса, расположенного на стойке блока отбора проб. Там же размещался компрессор с ресивером. Блок отбора соединен со штангой МП гибкими шлангами для барботажа и отбора газовой пробы и размещен на тележке моста МП. Линия отбора газовой пробы соединяла блок отбора с объемом между средней и внутренней секциями, в котором скапливался воздух после барботирования ТВС. Газовая проба отбиралась в специальную емкость (полиэтиленовый сильфон), расположенную на стойке.

Работа поворотного устройства контролировалась телекамерой МП с выводом изображения на монитор, расположенный на пульте МП. Работа устройства была записана на видеокассету. За все время испытаний было проведено более 50 циклов срабатывания поворотного устройства. Устройство выполнило свои функции безотказно.

Наладка и испытания системы КГО МП были проведены во время ППР 4-го блока Балаковской АЭС в период с 6 по 8 июня 2001 г. Программа испытаний включала следующее: испытание работы поворотного устройства и системы отбора газовой пробы; проверка представительства барботажа; проведение КГО 4 ТВС; определение оптимального объема барботажного воздуха и момента отбора газовой пробы (при проведении КГО вышеперечисленных ТВС); определение остаточного загрязнения трубопроводов отбора газовой пробы после проверки негерметичных ТВС.

Представительность барботажа проверялась подачей на барботаж воздуха, содержащего радиоактивный ксенон-133. В рабочей штанге находился имитатор ТВС. После проведения барботажа в пробе воздуха был обнаружен ксенон-133. Этим было доказано, что часть барботажного воздуха после прохождения через ТВС попадает в тот объем, из которого производится пробоотбор.

Проверка ТВС проводилась через 40 суток после остановки реактора после выгрузки всех ТВС из активной зоны и проверки в пеналах штатной системы СОДС.

В процессе контроля ТВС была проведена отработка режима пробоотбора.

ТВС были отобраны по результатам КГО в пеналах системы СОДС. Эти ТВС идентифицированы как негерметичные по «штатным» изотопам: йод-131 и цезий-137, кроме того, в пробах воды из пеналов обнаружен и ксенон-133. При контроле герметичных ТВС ксенон-133 не обнаруживался.

Сравнительные результаты контроля обоими методами показали хорошую сходимость результатов при безусловных преимуществах КГО МП.

Внедрение системы КГО МП позволит:

- проводить контроль герметичности каждой перегружаемой ТВС и выявлять негерметичные ТВС перед проверкой в стационарных пеналах СОДС, если такая проверка требуется инструкцией по КГО;

- повысить безопасность при перегрузке ТВС за счет уменьшения количества транспортных операций с ТВС;

- сократить общее время перегрузки за счет уменьшения количества ТВС, проверяемых в пеналах СОДС;

- сократить потребность в чистой борированной воде (не менее 1 м³ на проверку одной ТВС в пенале СОДС) и снизить соответствующее количество жидких радиоактивных отходов;

- уменьшить дозовые нагрузки на персонал АЭС.

Системную оценку эффективности КГО МП проведем в отношении трех основных преимуществ: 1) возможный рост КИУМ; 2) повышение эксплуатационной безопасности; 3) уменьшение дозовых нагрузок на персонал энергоблока.

Рост КИУМ. Повышение КИУМ определяется в зависимости от сокращения длительности ремонтов по формуле

$$КИУМ = \frac{nT_{эф}}{nT_{эф} + (n-1)CP + KP},$$

где n – кратность загрузок топлива в цикле; $T_{эф}$ – эффективная кампания загрузки в стационарном режиме, сут.; CP, KP – длительность средних и капитальных ремонтов, сут.

Сокращая за счет использования КГО МП длительность CP и KP всего на 10%, получим повышение КИУМ на 1÷1,5% в зависимости от исходных условий.

Так, при $n=3$, $CP=45$ сут., $KP=75$ сут. при относительно коротких кампаниях ($T_{эф}=300$ сут.) снижение длительности CP и KP на 4,5 и 7,5 суток позволит поднять КИУМ с 0,845 до 0,8588, а при $T_{эф}=400$ сут. – с 0,8791 до 0,9802. Эти последние значения характерны как средние для французских АЭС с PWR. При оценке системного эффекта «вытеснения» газа с внутреннего энергетического рынка эффект составит при $C_я=450$ руб/т у.т., $C_э=1200$ руб/т у.т. при КПД АЭС и ТЭС соответственно 33% и 41%.

$$\Delta = N_{уст} \cdot \Delta КИУМ \cdot 8760 \cdot (b_{уд}^{ТЭС} \cdot C_э - b_{уд}^{АЭС} \cdot C_я),$$

где $b_{уд}^{ТЭС}$, $b_{уд}^{АЭС}$ – удельные расходы условного топлива на отпуск 1 кВт·ч электроэнергии, кг у.т./кВт·ч.

Оцененная таким образом величина эффекта может составить от 16 до 25 млн. рублей в год по блоку 1000 МВт.

Повышение безопасности эксплуатации и снижение риска.

Примем следующие исходные данные для сопоставления обычной процедуры КГО и КГО МП, с учетом [1] и имея в виду сокращение транспортных операций с ТВС на каждом блоке в среднем на 30% (см. таблицу).

Исходные данные для учета повышенной безопасности КГО МП*

Вероятности ядерно-опасных аварий, 1/бассейн·год	Ожидаемый ущерб единичной аварии с падением ТВС в бассейн, тыс. руб./событие	Обоснование
--	--	-------------

I $\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-4}$	$Z_{\text{уц}} = 0,75 \cdot 10^6$	разнос активности с топливом через днище бассейна при проплавлении фундамента и через фильтр-вентилятор
II $\lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{-4}$	то же	то же

* в ценах до 1990 г.

Принимая коэффициент перехода к современным ценам $K_{\text{уд}}=30$, получим $\Delta R = Z_{\text{уц}} \cdot \Delta \lambda \cdot K_{\text{уд}}$ или примерно 1,5 млн. руб./реакт.год.

Уменьшение дозовых нагрузок на персонал. Для расчета этой составляющей эффекта используем данные по дозозатратам, структурированным по конкретному персоналу энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 [1], а также норматив НРБ-99. Согласно НРБ-99, облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере 1 чел.года (недожитие). Величину денежного эквивалента потери 1 чел.года жизни населения устанавливается не менее 1 среднегодового душевого национального дохода. По аналогии с [2] примем социальный множитель $K_{\text{соц}}=10 \div 20$. Средняя оценка эффекта КГО МП при экономии 30% суммарных дозозатрат по топливному хозяйству блока составит ~ 400 тыс. рублей.

Таким образом, наиболее значительным фактором, влияющим на эффект от применения КГО МП, является рост достижимого КИУМ на 1÷1,5%. Совместный учет этого фактора, а также снижение риска аварий при топливотранспортных операциях и уменьшение дозозатрат персонала показывает возможность достижения экономии от 17,5 до 26,5 млн. рублей на один энергоблок АЭС с ВВЭР-1000. Это эквивалентно экономии 4-5 ТВС свежего топлива. Для учета других преимуществ КГО МП (качество контроля, большие объемы, снижение жидких РО) необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осадчий А.М. Повышение эффективности и безопасности АЭС с ВВЭР совершенствованием поглощающих материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2001. 20 с.
2. Басов В.И., Хрусталева В.А. Снижение риска АЭС для персонала и населения. Саратов: СГТУ, 2003. 140 с.

Славягин Павел Дмитриевич –
научный сотрудник РНЦ «Курчатовский институт», г. Москва

Хрусталева Владимир Александрович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции»
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.314.58

С.Ф. Степанов, И.И. Артюхов, А.В. Коротков, Н.В. Погодин

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены некоторые вопросы повышения эффективности процесса генерирования электроэнергии автономными электростанциями за счёт применения в их структуре силовой преобразовательной техники.

S.F. Stepanov, I.I. Artjukhov, A.V. Korotkov, N.V. Pogodin

SOME ASPECTS POWER CONVERTING TECHNICS APPLICATION IN AUTONOMOUS SOURCES OF ELEKTRO SUPPLY

The article describes the possibility of application of power converting techniques in autonomous sources of electro supply what considerably increases the efficiency of the process of a generation of the electric power.

Слово «электроэнергетика» в советское время у всех россиян ассоциировалось со все-союзными стройками гигантских гидроэлектростанций, линий высоковольтных электропередач через всю страну, но практически никогда эти понятия не связывали с небольшими агрегатами, которые могут давать электричество поселкам, предприятиям, крестьянским хозяйствам, геологам в экспедиции и т.д.

В настоящее время в России развитие малой энергетики становится жизненно важным фактором. По оценкам целого ряда организаций, занимающихся проблемами электрификации, от 50 до 70% территории страны не охвачены централизованными электросетями, и электрификация этих районов может быть обеспечена только в рамках малой энергетики.

Однако, существующие автономные источники электроснабжения (АИЭ), выполненные на базе различных первичных двигателей: дизель-генераторов, газовых ДВС, газотурбинных двигателей и некоторых других типов, не позволяют во многих случаях генерировать электроэнергию с параметрами, удовлетворяющими требованиям стандартов по качеству электроэнергии при работе на локальную сеть электропотребителей. Это определяется следующими недостатками существующих типов АИЭ [1].

Во-первых, генераторы небольшой мощности нередко снабжаются упрощенными системами возбуждения (СВ). Упрощения (по сравнению с генераторами большой мощности) касаются источника питания СВ и закона регулирования возбуждения.

Во-вторых, более сильная, чем у крупных электростанций, зависимость режимов работы АИЭ от особенностей потребителей. Поэтому выбор противоаварийного управления АИЭ в сильной степени «привязан» к особенностям потребителя и, в частности, к такому параметру потребителя, как значение допустимой длительности перерывов электроснабжения.

В-третьих, значительное влияние на работу АИЭ резкопеременной нагрузки, которая характеризуется тем, что потребляемая мощность сильно и часто изменяется во время нормальной работы. При наличии резкопеременной нагрузки возникают сложные задачи обеспечения допустимых режимов работы АИЭ по токам и моментам.

В-четвёртых, высокая скорость протекания аварийных переходных процессов из-за малых значений инерционной постоянной T_j .

Появление на электростанциях агрегатов с малой механической инерцией требует пересмотра ряда технических решений в области мер, обеспечивающих устойчивость АИЭ и надежность электроснабжения потребителей.

Все способы и возможные технические решения улучшения классической схемы построения автономных электростанций на сегодня практически исчерпаны. Модернизация отдельных узлов и блоков автономных источников электроэнергии идет по пути применения новой элементной базы, при этом не меняется функциональное назначение блоков, а только улучшаются их отдельные технические параметры и характеристики.

Введение в структуру автономных источников электроэнергии силовой преобразовательной техники, микропроцессорных систем релейной защиты и управления открывает широкие возможности в повышении эффективности процесса генерирования электроэнергии с минимальными затратами первичного энергоносителя. Кроме того, электронные преобразователи, управляемые микропроцессором, позволяют выдавать потребителю электроэнергию с параметрами, определяемыми требованиями стандарта даже при переменной частоте вращения первичного двигателя с электрогенератором, обеспечивая при этом повышенную выработку электроэнергии на 15-35% [2].

Одновременно при этом снимается ряд важных проблем, не связанных напрямую с процессом генерирования электроэнергии, но связанных с её передачей в локальную сеть. К ним относятся проблемы синхронизации системы генерирования с сетью и обеспечение параллельной работы между собой нескольких генераторов.

Силовая электроника выполняет также функции защиты агрегата при аварийных режимах в локальной сети и нагрузке. Сочетание фундаментальных способов генерирования электроэнергии с возможностями силовой преобразовательной техники позволяет создать системы генерирования электроэнергии, которые обладают рядом дополнительных привлекательных свойств и могут быть весьма перспективными [1].

Во-первых, снимаются ограничения по скорости вращения выходного вала первичного двигателя и генератора, что позволяет создавать электрогенерирующую систему по схеме «единый вал», работающую со скоростью вращения значительно более 3000 об/мин. Такое решение позволяет получить более высокий КПД установки, снизить материалоемкость агрегата и в ряде случаев упрощает всю систему в целом.

Во-вторых, такая система позволяет первичному двигателю в рабочих режимах работать с переменной частотой вращения выходного вала в зависимости от величины нагрузки. Это позволяет реализовать режим экономии топлива. Кроме того, работа при пониженных скоростях вращения целесообразна с точки зрения повышения ресурса работы первичного двигателя.

Данное положение можно проследить, анализируя внешние и частичные скоростные характеристики двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

В качестве примера на рис. 1 представлены типичные внешние и частичные скоростные характеристики ДВС мощностью 130 кВт.

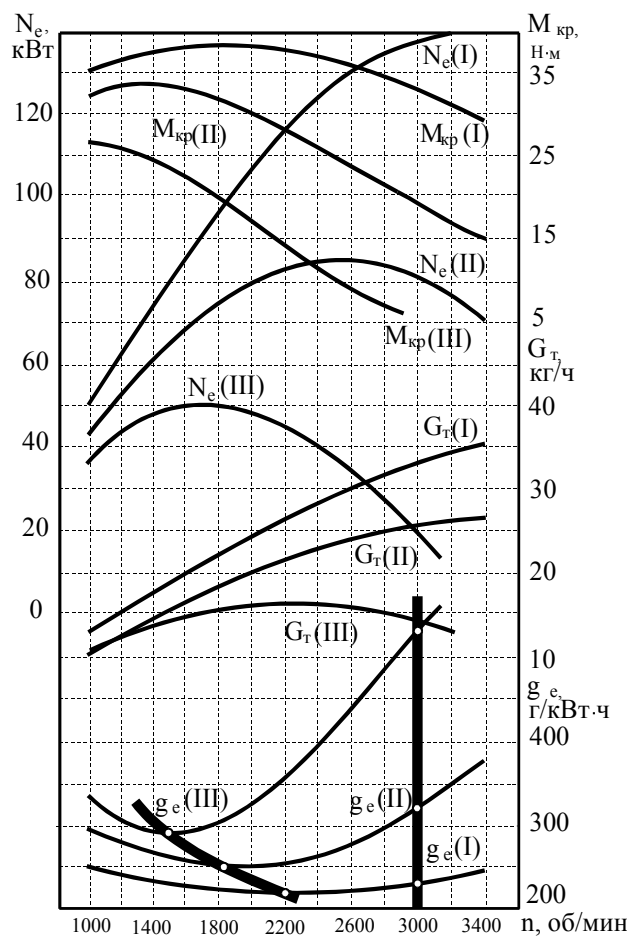


Рис. 1. Типичные внешние и частичные скоростные характеристики ДВС

Прежде всего, они позволяют оценивать предельно возможные энергетические и экономические показатели двигателей, при полностью открытой дроссельной заслонке, то есть при максимальной тактовой подаче топлива. Частичные скоростные характеристики так же, как и внешние скоростные характеристики, позволяют оценить основные параметры двигателей, но в случае работы с частичными нагрузками.

Здесь под цифрой I изображены характеристики при полностью открытой дроссельной заслонке, что соответствует режиму максимальной подачи топлива в каждом такте. Под цифрами II и III представлены характеристики для различных положений частично закрытой заслонки, соответствующие уменьшению цикловой подачи топлива на 30 и 50% соответственно.

На графиках удельного расхода видно, что они имеют нелинейный характер с явно выраженным минимумом. Причём с уменьшением цикловой подачи топлива минимум удельного расхода топлива на соответствующей характеристике смещается в сторону более низких оборотов.

Так, для режима I с полным открытием дроссельной заслонки минимум удельного расхода топлива g_e приходится на 2200 об/мин и составляет 220 г/кВт·ч. При этом мощность N_e , развиваемая двигателем, равняется 115 кВт. Для режима II минимум удельного расхода топлива g_e приходится на 2000 об/мин и составляет 250 г/кВт·ч при выходной мощности двигателя 80 кВт. Для режима III минимум удельного расхода топлива g_e приходится на 1450 об/мин и составляет 290 г/кВт·ч при выходной мощности двигателя 50 кВт. Изменение удельного расхода топлива при переходе с режима I на режим III составляет 31%. Выходная мощность двигателя при этом изменяется со 115 до 50 кВт.

При работе данного двигателя в составе автономной электростанции с электрогенератором, работающим при 3000 об/мин (по условиям работы генератора необходимо постоянно поддерживать 3000 об/мин при любой величине нагрузки) будем иметь следующую картину по удельным расходам топлива для вышеприведённых режимов нагрузки 115, 80, 50 кВт: для режима I – 235 г/кВт·ч (115 кВт), для режима II – 350 г/кВт·ч (80 кВт) и для режима III – 550 г/кВт·ч (20 кВт). То есть при переходе с режима I на режим III удельный расход топлива увеличится на 135%. Данный пример показывает неэффективность работы автономной электростанции при нагрузке, изменяющейся в широких пределах. Для повышения эффективности работы автономной электростанции с точки зрения минимизации расхода топлива необходимо снять с электрогенератора функцию частотообразующего органа. При этом станет возможным оптимизировать работу первичного двигателя по потреблению топлива при изменении нагрузки в широких пределах.

Получение необходимых параметров генерируемой электроэнергии при этом обеспечивается за счёт введения в структуру автономной электростанции статического преобразователя частоты.

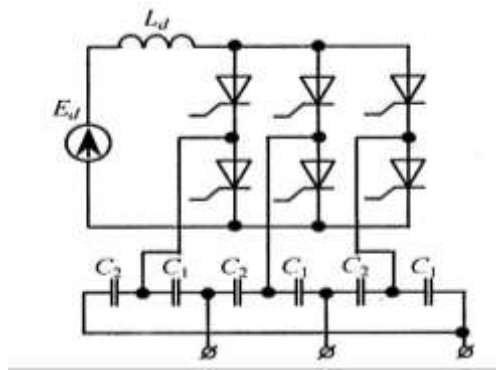


Рис. 2. Инверторная часть схемы преобразователя частоты

Стабильность частоты генерируемого напряжения в такой системе определяется стабильностью задающего электронного генератора блока управления преобразователем частоты. Так как в качестве задающего генератора используется кварцевый генератор, стабильность которого чрезвычайно высока, то каких-либо проблем со стабильностью частоты при данной реализации схемы автономного источника электроснабжения не возникает. Стабилизация генерируемого напряжения при скачкообразных изменениях нагрузки осуществляется за счёт устройств управления преобразователем частоты. В этих устройствах нет электромеханических элементов, имеющих большую инерционность, поэтому скорость отработки возмущающих воздействий получается максимально высокой.

В качестве преобразователя частоты возможно использование НПЧ, инверторов напряжения или инверторов тока. Каждая из этих схем имеет свои достоинства и недостатки. Одним из направлений, разрабатываемых в Саратовской школе, является разработка инверторов тока модульного типа с улучшенной формой кривой выходного напряжения [3]. В данной схеме в качестве инверторного модуля используется схема, изображённая на рис. 2. Данная схема преобразователя частоты позволяет генерировать практически синусоидальное напряжение в пределах требований стандарта качества электроэнергии. Схема сохраняет работоспособность при коротких замыканиях в нагрузке и может обеспечивать необходимый режим токоограничения при различных аварийных режимах в нагрузке [5].

Сдерживающим фактором построения автономных источников электроснабжения с применением силовой преобразовательной техники было отсутствие надёжных, экономич-

ных и относительно недорогих преобразователей частоты. За последнее десятилетие силовая электроника достигла значительных успехов в создании высоконадёжных, экономичных преобразователей частоты с прекрасными массогабаритными показателями, причём стоимость таких преобразователей быстро снижается. Так, стоимость одного кВт мощности преобразователя составляет сегодня менее 100\$, а массогабаритные показатели имеют величину не более одного килограмма и 2 дм³ на 1 кВт выходной мощности. В стоимостном выражении введение преобразователя частоты в схему автономного источника электроснабжения увеличивает его стоимость не более чем на 7-10%.

Резюмируя вышесказанное, можно сказать, что силовая электроника в автономных источниках электроэнергии позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели генерирования электроэнергии автономными электростанциями малой и средней мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич Ю.Е., Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. Проблемы обеспечения надёжного электроснабжения потребителей от газотурбинных электростанций небольшой мощности // Электричество. 2002. № 2. С.50-56.
2. Системы генерирования ветроэлектрических установок большой мощности / И.А. Лобунец, Т.В. Плотникова, Ю.Г. Шакарян и др. // Энергетик. 2000. № 4. С.11-13.
3. Степанов С.Ф., Митяшин Н.П., Артюхов И.И. Многомостовые преобразователи частоты с конденсаторным суммированием выходных сигналов // Вопросы преобразовательной техники и частотного электропривода: Межвуз. науч. сб. Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1983. С.87-92.
4. Кантер И.И. Статические преобразователи частоты // Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1966. 405 с.
5. Степанов С.Ф., Бочков А.Е. Ограничение напряжений на элементах параллельно-последовательного автономного инвертора при коротких замыканиях в нагрузке // Вопросы преобразовательной техники и частотного электропривода. Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1986. С.34-40.

Степанов Сергей Федорович –

кандидат технических наук,
докторант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»
Саратовского государственного технического университета

Артюхов Иван Иванович –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий»
Саратовского государственного технического университета

Коротков Александр Викторович –

член совета директоров МПП «Энерготехника»

Погодин Николай Васильевич –

член совета директоров МПП «Энерготехника»

В.П. Фролов, С.Н. Щербаков, А.Я. Шелгинский

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Проблемы энергосбережения являются актуальными как в промышленности, так и в жилищно-коммунальном хозяйстве. Экономия единицы энергии на конечной стадии ее потребления приводит к экономии 3-4 единиц первичного энергоресурса, а иногда и 10-15 единиц в зависимости от эффективности всех стадий преобразования, транспорта и распределения, которые проходят первичные ресурсы на пути до конечных потребителей.

V.P. Frolov, S.N. Shcherbakov, A.J. Shelginsky

**SCIENTIFIC BASES PREPARATION OF EXPERTS
FOR THE DECISION PROBLEMS OF POWER SUPPLY**

Problems of energy saving are actual both in the industry, and in communal services. The economy of an energy unit at a final stage of its consumption results in economy of 3-4 units initial resources, and sometimes and 10-15 units depending on efficiency of all stages of transformation, transport and distribution which pass initial resources for a way up to end users.

Средние удельные капитальные вложения в энергосберегающие мероприятия, осуществляемые конечным потребителем энергоносителей, многократно ниже ожидаемых капитальных вложений в производство эквивалентного количества энергетических ресурсов. Для эффективного решения проблем рационального использования энергоресурсов на всех стадиях необходимы хорошо подготовленные специалисты. Поэтому вопросам подготовки, повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов в настоящее время уделяется большое внимание [1].

Для подготовки специалистов широкого профиля, решающих на высоком уровне вопросы энергосбережения, в ГУП «Мосгортепло» и ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» провели анализ отечественных и зарубежных разработок в этой области и на этой основе разработали учебные планы и программы подготовки специалистов, повышения квалификации и профессиональной переподготовки сотрудников ГУП «Мосгортепло». Несмотря на различные технологические системы производства конечной продукции, общий методологический подход к решению этих задач остается единым. Методологические основы решения проблем энергосбережения изложены в [2,3], а в [4] приводится достаточно подробный алгоритм решения проблем рационального использования энергоресурсов и его использования на примере конкретного предприятия. В жилищно-коммунальном хозяйстве, как и на любом крупном предприятии в общем случае, используется первичное топливо, осуществляются технологические процессы производства товарной продукции (в данном случае теплота и электроэнергия). Через системы транспорта и распределения эта продукция в конечном итоге поступает к потребителю (покупателю) для обеспечения необходимых условий жизнедеятельности людей или проведения различных технологических процессов [5].

Совершенствование учебных планов и учебных программ осуществляется постоянно с учетом последних достижений в области энергосбережения на всех стадиях использования энергоресурсов. К примеру, в [6] обосновываются приоритетные направления модернизации, реконструкции и технического перевооружения существующих и создания новых высокоэкономичных систем теплоснабжения городов. Предлагаются методики анализа тепловой экономичности теплоснабжающих комплексов с различными источниками и при их комбинировании. В [7] приводятся наиболее эффективные технологии, позволяющие решать вопросы энергосбережения в городском хозяйстве Москвы. В [8] на базе обратной задачи наладочного расчета гидравлических режимов тепловых сетей разработана и апробирована новая методика использования геоинформационной системы WinPlan с расчетным модулем NetAnalyser для диагностики косвенных измерений параметров тепловых сетей. В [9] определяются результирующие показатели энергетической эффективности выработки, распределения и потребления тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения от ТЭЦ с обоснованием нормативов удельного потребления первичного энергоносителя (топлива) на отопление в системах теплоснабжения. Разрабатываются методологические основы оптимизации и оценки экономической целесообразности теплозащиты потребителей теплоты; методики оптимизации расчетных параметров существующих тепловых сетей по условию достижения минимума транспортных энергозатрат после усиления теплозащиты потребителей теплоты. Вопросам эффективного регулирования отпуска теплоты, позволяющего избегать непроизводительного расхода (перетопа), посвящена работа [10]. Заслуживают внимания работы по системам децентрализованного теплоснабжения, являющимся наиболее эффективными для отдельных районов [11,12,13,14]. Решение проблем эффективного энергоиспользования на конечной стадии рассматривается в [15,16,17,18].

В 1997 году был осуществлен первый набор студентов для целевой подготовки специалистов по направлению ГУП «Мосгортепло». На основе утвержденных Министерством образования РФ учебных планов и программ подготовки специалистов по специальности «Промышленная теплоэнергетика» были введены дополнительные, расширены и модернизированы действующие разделы занятий (которые ежегодно корректируются с учетом последних достижений в этой области), такие как:

1. Общая структура теплоснабжения городов, районов, поселков и других теплопотребляющих абонентов. Их характеристики, проблемы теплоснабжения и теплоиспользования в системах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, хозяйственно-питьевого водоснабжения.

2. Анализ современных российских и зарубежных разработок по снижению удельных энергозатрат на теплоту, воду и электроэнергию в системах теплоснабжения и теплоиспользования.

3. Тепловые пункты: анализ теплотехнологических систем, систем регулирования отпуска теплоты, основные пути повышения точности и надежности регулирования. Их расчет и проектирование.

4. Тепловые трубы, тепловые насосы. Теория, практика и перспективы использования в системах теплоснабжения.

5. Характеристики источников теплоты, электроэнергии и воды, используемых в системах централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Их схемы, оборудование. Перспективы использования новых источников энергообеспечения в системах теплоснабжения. Техничко-экономическое обоснование перевода котельных в мини-ТЭЦ в сочетании с ТНУ, ГТУ, ПГУ, ПТУ и т.д.

6. Характеристики и состояние магистральных и межквартальных тепловых сетей. Конструкции, материалы. Основные причины и статистические показатели аварийности се-

тей. Современные и перспективные конструктивные и изоляционные материалы, а также строительные конструкции прокладок тепловых сетей.

7. Контроль и диагностика тепловых сетей и их отдельных элементов. Способы защиты теплопроводов от внутренней и наружной коррозии. Программы и организация испытаний, наладки и ремонта тепловых сетей.

8. Энергоаудит тепловых сетей.

9. Автоматизация тепловых пунктов. Принципы регулирования отопительно-вентиляционной нагрузки, горячего и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Приборы учета, контроля и авторегулирования. Частотное регулирование электроприводов.

10. Диспетчеризация тепловых пунктов. Принципы диспетчеризации, оборудование для ее проведения.

11. Компьютерные технологии эксплуатации и диагностики систем теплоснабжения.

12. Организация управления системами теплоснабжения. Административное право и его использование в процессах управления системами теплоснабжения. Экономические методы управления. Техничко-экономическое обоснование объемов и сроков модернизации систем теплоснабжения, проведения ремонтов и реконструкций.

Результаты защиты дипломных проектов после 5,5 лет обучения студентов по направлению ГУП «Мосгортепло» показали высокий уровень их подготовки, т.к. после третьего курса они ежегодно проходили учебную и на шестом курсе преддипломную практику на местах, связанных с будущей работой, где проводили сбор материалов для дипломного проектирования и предварительную их проработку. Темы дипломных проектов связаны с разработкой перспективных систем теплоснабжения микрорайонов, районов и городов на основе рационального использования энергоресурсов, включая ВЭР и возобновляемые источники энергии, совершенствованием систем регулирования отпуска теплоты, эффективностью перевода котельных в мини-ТЭЦ в сочетании с ТНУ, ПГУ, ГТУ, ПТУ и т.д.

Особое внимание ГУП «Мосгортепло» уделяет вопросам повышения квалификации сотрудников предприятия, при необходимости проводит их профессиональную переподготовку. Совместно с ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» проработана и реализуется программа повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров предприятия.

Повышение квалификации за 2002 год и весну 2003 года прошли 223 специалиста в объеме 150 учебных часов, и 33 сотрудника завершают профессиональную переподготовку в объеме 900 часов с получением диплома государственного образца после успешной защиты дипломного проекта.

Эта работа проводится на базе Центра повышения квалификации, подготовки и переподготовки специалистов (ЦПП) «Энергоэффективность» при факультете повышения квалификации преподавателей и специалистов ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» и учебного центра ГУП «Мосгортепло», где слушатели на практике изучают конструкции и методы изготовления современных пластинчатых теплообменников, модульных тепловых пунктов с различными схемами подключения систем горячего водоснабжения, методы регулирования отпуска теплоты, проходят обучение основам диспетчеризации.

Проводятся следующие виды занятий:

– краткосрочное повышение квалификации – от 72 учебных часов (удостоверение государственного образца);

– повышение квалификации – от 100 до 500 учебных часов (свидетельство государственного образца);

– профессиональная переподготовка – свыше 500 учебных часов (диплом государственного образца);

– экспресс-курсы по заказам предприятий и организаций – от 6 до 72 учебных часов (удостоверение МЭИ (ТУ) о краткосрочном повышении квалификации).

При наличии у слушателей электронной почты возможно дистанционное обучение.

На базе ЦПП «Энергоэффективность» проводится повышение квалификации и профессиональная переподготовка специалистов по следующим специальностям:

- Промышленная теплоэнергетика.

Специализации:

– промышленные теплоэнергетические установки и системы теплоснабжения;

– исследование и испытание систем и установок теплоэнергоснабжения;

– энергоаудит промышленных предприятий, организаций жилищно-коммунального хозяйства и др.;

– теплофикация и тепловые сети;

– инженерная экология и энергосбережение;

– системы и установки искусственного климата;

– электрохимическая и водородная энергетика.

- Энергетика теплотехнологии.

Специализации:

– интенсивное энергосбережение в теплотехнологии;

– энергоэкономика, экология и энергосберегающая техника теплотехнологических систем;

- Энергообеспечение предприятий.

- Экономика и управление на предприятии.

- Аналитическая деятельность на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. XIII конференция «Москва – энергоэффективный город» // АВОК. 2000. № 3. С.4-7.

2. Ключников А.Д. Основные направления реализации предельного энергосбережения в теплотехнологии // Промышленная энергетика. 1986. № 10. С.3-5.

3. Шелгинский А.Я. Основные направления создания рациональных комбинированных энерготехнологических систем предприятий химической промышленности // Промышленная энергетика. 1990. № 10. С.4-6.

4. Шелгинский А.Я. Промышленная энергетика в развитии экономики страны // Промышленная энергетика. 2000. № 5. С.28-32.

5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 1999. 472 с.

6. Николаев Ю.Е. Основы повышения эффективности теплоснабжающих комплексов городов: Дис. ... доктора техн. наук. Саратов, 2003. 363 с.

7. Лапир М.А. О концепции внедрения энергоэффективных технологий в городское хозяйство Москвы // Энергосбережение. 2003. № 4. С.4-6.

8. Томарев Г.И. Моделирование и оптимизация элементов энергосберегающей системы теплоснабжения городского района: Дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2001. 156 с.

9. Семенов Б.А. Оптимизация параметров теплоиспользования в системах централизованного теплоснабжения городов: Дис. ... доктора техн. наук. Саратов, 2002. 527 с.

10. Ильин В.К. Энергоэффективная система регулирования отпуска тепла // Энергосбережение. 2003. № 4. С.20.

11. Хаванов П.А. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения // АВОК. 2002. № 1. С.14-21.

12. Хаванов П.А. Системы теплоснабжения от автономных теплогенераторов // АВОК. 2002. № 2. С.22-28.

13. Хаванов П.А. Принципиальные тепловые схемы автономных источников теплоснабжения с коллекторами малых перепадов давления // АВОК. 2002. № 3. С.26-32.
14. Батенин В.М., Масленников В.М., Цой А.Д. О роли и месте децентрализованных источников энергоснабжения // Энергосбережение. 2003. № 1. С.14-18.
15. Шилькрот Е.О. Качество микроклимата и энергосбережение – стратегические задачи «АВОК» // АВОК. 2002. № 4. С.6-9.
16. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективное здание учебного центра // АВОК. 2002. № 5. С.10-20.
17. Табунщиков Ю.А. Искусство и методология проектирования // АВОК. 2003. № 2. С.6-7.
18. Табунщиков Ю.А. От энергоэффективных к жизнеудерживающим зданиям // АВОК. 2003. № 3. С.8-11.

Фролов Вячеслав Петрович –
генеральный директор ГУП «Мосгортепло»

Щербаков Сергей Николаевич –
главный инженер ГУП «Мосгортепло»

Шелгинский Александр Яковлевич –
доктор технических наук, профессор
Московского энергетического института (технического университета)

УДК 621.311:658.26;621.181;621.184

В.А. Хрусталёв, А.И. Баженов

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ И СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Показана возможность формирования новых технических направлений совершенствования энергохозяйства предприятий и разработки перспективной энергомашиностроительной продукции – новых типов энергетического и энергопотребляющего оборудования на основе разработанных авторами расчетных программ, использующих новые принципы принятия энергоэффективных технических решений для сложных систем энергообеспечения предприятий.

V.A. Hrustalyov, A.I. Bazhenov

PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF THE ACCEPTANCE OF THE POWEREFFICIENT SOURCES AND THE SYSTEMS OF THE ENERGYSUPPLYING OF ENTERPRISES

The article shows the possibility of the new ways of the economically energy consumption by enterprises and the development of the perspective production of the energy mechanical engineering products – new types of energy and power

consuming equipment on the base designed by authors of the programs, using new principles of the acceptance of the power efficient technical decisions for complex systems of energy supplying of enterprises.

Проблемы формирования энергоэффективного направления развития источников и систем энергообеспечения предприятий вызваны в значительной мере несоответствием используемых в этой сфере методов принятия технических решений рассматриваемым задачам. Выбор решения производится или по показателям тепловой (термодинамической) эффективности, или по экономическим критериям. Причем первое в большей степени используется техническими специалистами, а второе – инвесторами. Нетрудно заметить, что на практике термодинамические показатели носят чаще вспомогательный характер, а экономические – определяющий. При этом, в случае принятия директивного решения на основе термодинамических критериев, вопреки экономической ситуации (например, о беспрепятственном подключении к энергосистемам независимых производителей электроэнергии на базе мини-ТЭЦ), такое решение влияет на структуру системы энергообеспечения, расширяет область применения отдельных типов энергооборудования, но не создает предпосылки энергоэффективного развития источников энергии, создания перспективных типов энергоустановок.

Использование чисто экономических критериев также не позволяет в достаточной мере активизировать целевые программы энергосбережения, производства энергоэффективного оборудования и, в конце концов, сформировать устойчивую тенденцию сокращения потребления невозобновляемых энергоресурсов. Принимаемые на этой основе технические и организационные решения отражают в основном текущую экономическую конъюнктуру и, как следствие, сдерживают разработку и производство перспективных типов энергоэффективного энергомашиностроительного, тепло- и электротехнического оборудования, не позволяют обеспечить очевидно необходимое уменьшение энергоемкости промышленной продукции, снижают конкурентоспособность и экспортный потенциал отечественного энергомашиностроения.

В Саратовском государственном техническом университете по данной проблеме ведутся постоянные исследования, результатом которых являются комплекс методов и инженерных методик отбора и разработки наиболее эффективных теплоэнергетических установок, а также полученные на их основе новые технические решения.

Совершенствование больших энергоснабжающих комплексов в масштабе региона может быть осуществлено на основе разработанных профессором А.И. Андрищенко методических принципов выбора рациональных вариантов энергообеспечения исходя из общего расхода топлива в рассматриваемой системе. При этом предложенные им эксергетические методы анализа и теория образцовых циклов обеспечивают теоретическую базу для повышения тепловой экономичности отдельных типов теплоэнергетических установок.

Значительный прирост энергетической эффективности источников энергообеспечения предприятий позволяет получить представленный в научных трудах профессора Ю.М. Хлебалина и профессора Ю.Е. Николаева подход к выбору характеристик теплоэнергетических установок промышленных ТЭЦ с учетом особенностей режимов работы теплопотребляющего оборудования предприятий.

Изложенные в работах профессора Р.З. Аминова принципы формирования структуры генерирующих мощностей энергосистемы в условиях дефицита топлива могут быть применены для обоснования технического перевооружения энергоснабжающих комплексов в периоды энергетического кризиса.

Между тем, создание энергоэффективных источников и систем энергообеспечения предприятий сопровождается повышенной сложностью выбора рациональных технических решений. Это связано с разнообразием энергоносителей, применяемых на современных

предприятиях, способов их производства, с различиями энергопотребляющих устройств, необходимостью принятия комплексных, системных решений.

Специфика данной проблемы требует адекватных критериальных и методологических подходов. Причем, по мере подъема экономики и выхода отечественных товаропроизводителей на зарубежный рынок, обострения рыночной конкуренции необходимость в практическом применении такого подхода возрастает.

В связи с этим авторами разработаны универсальные критерии и методические основы принятия энергоэффективных технических решений для сложных систем энергообеспечения [1,2,3], позволяющие найти способы повышения эффективности энергохозяйства предприятия, использующего различные топлива и другие энергоресурсы. Предложенный в указанных работах подход дает возможность получить максимальную отдачу от инвестиций, направленных на повышение энергоэффективности предприятия или его продукции, сформировать технические предложения по новой энергосберегающей, высококонкурентной продукции, а также выбрать наиболее энергоэффективное оборудование, закупаемое предприятием. На основе данного подхода разработаны программные продукты, позволяющие автоматизировать процесс принятия энергосберегающих технических решений.

Кроме того, заложенные в расчетных программах детерминированные алгоритмы принятия технических решений позволяют определить область рационального применения перспективных типов энергооборудования в сложном энергохозяйстве предприятия.

Так, например, разработанное программное обеспечение позволило при решении задачи повышения эффективности энергообеспечения предприятия, имеющего в своем составе комбинированную выработку тепловой и электрической энергии, найти перспективную область применения таких неординарных для данной сферы технических устройств, как топливные элементы (ТЭ) [3]. Оказалось вполне вероятным использование ТЭ на ТЭЦ, в том числе промышленных.

К достоинствам топливных элементов относятся: высокий КПД (электрический КПД установок на ТЭ может достигать 60% и выше), возможность использования в качестве рабочих реагентов дешевых веществ (в частности, тех же топлив, которые применяются в обычных теплосиловых установках), малая масса, отсутствие движущихся частей и выхлопных газов, бесшумность и большое время непрерывной работы, быстрое включение. Разработаны и уже находят применение электрохимические генераторы мощностью от нескольких Вт до нескольких МВт. Недостатками ТЭ являются: применение дорогих катализаторов, редкоземельных металлов и сложность производства ТЭ. Вместе с тем, стоимость электроэнергии, получаемой в ТЭ, может быть снижена при условии применения в качестве окислителя воздуха и недорогого топлива, а также уменьшения капитальных затрат и, в частности, уменьшения расхода или полного устранения драгоценных металлов, увеличения ресурса и КПД ТЭ. Достигнутые характеристики топливных элементов, высокая интенсивность научных и прикладных разработок по ТЭ, наличие положительного опыта дают основание рассматривать применение в большой энергетике установок на ТЭ в качестве реальной перспективы.

Учитывая высокую тепловую экономичность топливных элементов и их значительную стоимость, вариант с ТЭ просчитывался в качестве одного из альтернативных (среди капиталоемких) решений по повышению энергетической эффективности систем энергообеспечения. Кроме того, использование ТЭ рассматривалось для условий электростанции, имеющей высокую термодинамическую эффективность и осуществляющей комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. При этом задача сводилась к выбору компромиссного решения между сокращением теплотерь при теплоснабжении и при производстве энергоносителей. Рассматривались три варианта энергосберегающего технического решения: 1) снижение теплоснабжения с одновременным увеличением КПД паротурбинного цикла; 2) снижение теплоснабжения с компенсацией недовыработки электроэнергии на тепловом потреблении топливными элементами и использованием выделяемой топливными

элементами теплоты; 3) снижение теплопотребления с компенсацией недовыработки электроэнергии на тепловом потреблении топливными элементами без использования теплоты топливных элементов. В результате расчетов, представленных в [3], была определена предпочтительная область выработки электроэнергии в топливных элементах за счет использования части топлива, поступающего на ТЭЦ по сравнению с комплексом других альтернативных вариантов реконструкции ТЭЦ.

С учетом имеющихся ограничений по объёму инвестиций, предельному сроку окупаемости, экологическим или социальным последствиям определены равноэкономичные условия реализации всех трех вариантов. В результате учета ограничений принято, что по всем вариантам объем инвестиций составляет 4,98 млн. руб./год. Полученные, при условии равного обеспечения энергией тепло- и электропотребляющих устройств абонентов, данные по вариантам сведены в таблицу.

Результаты расчетов

Варианты энергосберегающих решений	Показатели			
	Срок окупаемости, лет	Отпускаемая тепловая мощность ТЭЦ, МВт	Отпускаемая от топливных элементов электрическая мощность, МВт	Экономия топлива, кг у.т./с
Вариант 1	11,3	103,55	–	2,29
Вариант 2	11,4	107,5	12,611	2,30
Вариант 3	9,5	107,3	10,520	1,20

При использовании топливных элементов в системах электро- и теплоснабжения максимальная их эффективность достигается при стабильно высокой нагрузке и наиболее полной утилизации выделяющейся теплоты. Поэтому необходимо дополнять ТЭ устройствами связи с системами переменного тока и потребителями теплоты.

Таким образом, апробация расчетной модели, основанной на разработанных авторами принципах принятия энергоэффективных технических решений для сложных систем энергообеспечения, показала возможность формирования на их основе новых технических направлений совершенствования энергохозяйства предприятий. Кроме того, заложенные в расчетных программах новые универсальные критерии принятия технических решений позволяют их использовать при разработке перспективной энергомашиностроительной продукции – новых типов энергетического и энергопотребляющего оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов А.И. К вопросу принятия энергосберегающих технических решений для систем коммунально-бытового теплоснабжения // Технические, экономические и экологические проблемы энергосбережения: Материалы Междунар. конф. Саратов, 2002. С.23-27.
2. Хрусталёв В.А., Баженов А.И. О критериях, применяемых для оценки уровня энергоресурсоэффективности промышленных и энергетических технологий // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Материалы 3-й Рос. науч.-техн. конф. Ульяновск, 2003. С.21-25.
3. Хрусталёв В.А., Баженов А.И. Об использовании топливных элементов для повышения эффективности работы ТЭЦ // Проблемы развития централизованного теплоснабжения: Материалы науч.-техн. конф. Самара, 2004. С.237-243.

Хрусталеv Владимир Александрович –

доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции»
Саратовского государственного технического университета

Баженов Александр Иванович –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика»
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.311.22

Л.П. Шелудько

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ТЭЦ НАДСТРАИВАЕМОЙ ГТУ С ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ-УТИЛИЗАТОРАМИ

Рассматриваются вопросы модернизации действующих ТЭЦ с их надстройкой ГТУ с котлами-утилизаторами. Приведены выражения для определения снижения расхода топлива, увеличения электрической мощности и удельных расходов топлива на дополнительно выработанную электроэнергию модернизированной ТЭЦ. Показано, что использование «запертой» конденсационной мощности снизит стоимость ее модернизации.

L.P. Sheludko

METHODICS OF ANALYSES OF CHARACTERISTICS OF HPS WITH GTU AND VAPOR BOILERS AND UTILIZERS

The problems of modernization of functioning HPS with their over constructed structures of GTU with boilers utilizers are described in this article. The ways of fuel consumption cut and increase of electrical out put is shown here as well. The article proves that the use of “locked” condensed power will lower down its modernization.

Перспективным направлением повышения мощности и экономичности морально устаревших ТЭЦ является их модернизация по парогазовой технологии путем надстройки ГТУ с котлами-утилизаторами (КУ).

При разработке проектов модернизации для каждой ТЭЦ необходим индивидуальный выбор характеристик газотурбинных характеристик и КУ с учетом их мощности, экономичности, стоимости, факторов надежности, технического состояния существующего энергетического оборудования, уровня присоединенных тепловых нагрузок.

На действующих ТЭЦ применение котлов-утилизаторов двух давлений пара нецелесообразно из-за их высокой стоимости, по компоновочным причинам, а также вследствие снижения теплофикационной выработки электроэнергии турбоагрегатами. В этих случаях рациональнее применение на модернизируемых ТЭЦ КУ одного давления пара, имеющих паровую и водогрейную части. Паровая часть КУ может быть рассчитана на генерацию острого пара, подаваемого в главный паропровод станции или же на выработку пара средне-

го давления. При этом острый пар направляется в главный паропровод, а пар среднего давления может подводиться в промышленный коллектор ТЭЦ, или в перепускные паропроводы между цилиндрами высокого и среднего давления теплофикационных турбоагрегатов Т-110/120-130 или ПТ-135-130/15.

На ТЭЦ с открытой теплофикационной системой наиболее эффективно использование газодводяных подогревателей (ГВП) котлов-утилизаторов для подогрева подпиточной воды теплосети. При этом обеспечивается длительная, высокоэкономичная работа устанавливаемых ГТУ.

Ниже рассмотрена методика определения основных характеристик котлов-утилизаторов и тепловой экономичности модернизируемой ТЭЦ с открытой теплофикационной системой при подаче пара от КУ в главные паропроводы. Предполагается, что величины внешних присоединенных тепловых нагрузок реконструируемой ТЭЦ остаются неизменными.

Для упрощения анализа рассматриваются усредненные среднезимний и среднелетний режимы работы модернизированной станции. В последующих выражениях индексы «з» и «л» соответствуют среднезимнему и среднелетнему режиму работы энергетического оборудования станции.

С целью обеспечения требуемой температуры перегрева пара t_{III} котлы-утилизаторы ГТУ снабжены дожигающими устройствами. Расход и энтальпия газов, поступающих в КУ после камер дожигания (КД), равны $G_{КД}^3$ и $i_{КД}^3$.

Паропроизводительность КУ определяется из уравнения теплового баланса пароперегревателя и испарителя с учетом минимальных температурных напоров в пароперегревателе и испарителе.

$$D_{КУ}^3 = G_{КД}^3 \frac{i_{КД}^3 - i_{Г}^{ИСП}}{i_{III}^3 - i_{ИСП}^3} \eta_{Г},$$

где $i_{III}^3, i_{ИСП}^3$ – энтальпии перегретого пара и кипящей воды в испарителе; $i_{КД}^3, i_{Г}^{ИСП}$ – энтальпии продуктов сгорания за камерой дожигания и при минимальном температурном напоре в испарителе КУ.

Тепловая нагрузка паровой части котла-утилизатора

$$Q_{КУ}^3 = D_{КУ}^3 (i_{III}^3 - i_{ПВ}^{КУ}), \quad (1)$$

где $i_{ПВ}^{КУ}$ – энтальпия питательной воды КУ.

При подводе из КУ в главный паропровод ТЭЦ острого пара паропроизводительность энергетических котлов ТЭЦ вытеснится на величину $\Delta D_{КА}^3 = D_{КУ}^3$, а их тепловая нагрузка уменьшится на

$$\Delta Q_{КА}^3 = D_{КУ}^3 (i_{III}^3 - i_{ПВ}), \quad (2)$$

где $i_{ПВ}$ – энтальпия питательной воды энергетических котлов ТЭЦ.

Обозначив через $\varepsilon = \frac{i_{III}^3 - i_{ПВ}}{i_{III}^3 - i_{ПВ}^{КУ}}$ отношение удельного подвода тепла в энергетических котлах и котлах-утилизаторах, получим

$$\Delta Q_{КА}^3 = \varepsilon Q_{КУ}^3. \quad (3)$$

Полный подвод тепла в камере сгорания (КС) газотурбинной установки и в камере дожигания топлива перед КУ

$$Q_{ГТУ}^3 = Q_{КС}^3 + Q_{КД}^3 = \frac{N_{\mathcal{E}}^{ГТУ}}{\eta_{МГ}} + Q_{КУ}^3 + Q_{ГВП}^3 + Q_{УХ}^3. \quad (4)$$

Из теплового баланса экономайзера паровой части котла-утилизатора

$$G_{КУ}^3 (i_{Г}^{ИСП} - i_{ВЫХ}^{ПЧ}) \eta_T = D_{КУ}^3 (i_{ИСП} - i_{ПВ})$$

определится энтальпия газов на выходе из его паровой части

$$i_{ВЫХ}^{ПЧ} = i_{Г}^{ИСП} - \frac{D_{КУ}^3}{G_{КУ}^3 \eta_T} (i_{ИСП} - i_{ПВ}^{КУ}).$$

Отсюда величина тепловой мощности ГВП КУ

$$Q_{ГВП}^3 = G_{КУ}^3 (i_{ВЫХ}^{ПЧ} - i_B^3).$$

Количество тепла топлива, подводимое в камере дожигания КУ

$$Q_{КД}^3 = G_{КУ}^3 (i_{Г}^{КД} - i_0^3).$$

Обозначив через $\mu^3 = \frac{Q_{ГВП}^3}{Q_{КУ}^3}$ отношение тепловой нагрузки ГВП и паровой части КУ,

получим выражение для определения полного КПД КУ с учетом наличия в нем паровой и водогрейной частей

$$\eta_{КУ}^3 = \frac{(1 + \mu^3) Q_{КУ}^3}{Q_{ГТУ}^3 - \frac{N_{\mathcal{E}}^{ГТУ}}{\eta_{МГ}}}. \quad (5)$$

Так как суммарное количество тепла газов перед котлом-утилизатором равно $Q_{\Sigma}^3 = Q_0^3 + Q_{КД}^3$, то КПД паровой части и полный КПД КУ можно представить в виде выражений

$$\eta_{КУ}^3 = \frac{Q_{КУ}^3}{Q_{\Sigma}^3} \quad \text{и} \quad \eta_{КУ\Sigma}^3 = \frac{Q_{КУ}^3 + Q_{ГВП}^3}{Q_{\Sigma}^3}.$$

Расход топлива в камере сгорания ГТУ

$$B_{КС}^3 = \frac{N_{\mathcal{E}}^{ГТУ}}{Q_H^P \eta_{\mathcal{E}}^{ГТУ} \eta_{КС}} \quad (6)$$

и в камере дожигания котла-утилизатора

$$B_{КД}^3 = \frac{Q_{КД}^3}{Q_P^H \eta_{КД}}. \quad (7)$$

Выразив относительный расход топлива в камере дожигания ГТУ $\alpha^3 = \frac{B_{КД}^3}{B_{КС}^3}$, с учетом

предыдущих выражений можно записать формулы для определения суммарного расхода тепла в КС и КД

$$Q_{ГТУ}^3 = (1 + \alpha^3) \frac{N_{\mathcal{E}}^{ГТУ}}{\eta_{\mathcal{E}}^{ГТУ} \eta_{КС}}$$

и расхода топлива на газотурбинную установку с учетом дожигания

$$B_{ГТУ}^3 = (1 + \alpha^3) \frac{N_{\mathcal{E}}^{ГТУ}}{Q_H^P \eta_{\mathcal{E}}^{ГТУ} \eta_{КС}}. \quad (8)$$

Тогда с учетом (5) тепловую нагрузку паровой части котла-утилизатора можно представить в виде

$$Q_{KV}^3 = N_{\text{Эз}}^{\text{ГТУ}} \frac{\eta_{KV}^3}{(1 + \mu^3)} \left[\frac{1 + \alpha^3}{\eta_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}} \eta_{KC}} - \frac{1}{\eta_{MG}} \right]. \quad (9)$$

Суммарное снижение расхода топлива на энергетические котлы ТЭЦ из-за выработки острого пара в КУ n работающих ГТУ будет равно

$$\Delta B_{KA}^3 = n \varepsilon \frac{Q_{KV}^3}{Q_H^P \eta_{KA}}. \quad (10)$$

Подогрев подпиточной воды теплосети в ГВП КУ приводит к частичному вытеснению теплофикационной нагрузки сетевых подогревателей турбоагрегатов станции. В этом случае

$$Q_{\text{ГВП}}^3 = \Delta Q_T^3 = \Delta D_T^3 (i_T - i_{ST}).$$

Обозначив через $q_T^3 = (i_T^3 - i_{ST})$ удельное количество тепла, отдаваемого паром теплофикационного отбора в сетевых подогревателях турбин, выразим снижение расхода пара в теплофикационные отборы турбин в виде

$$\Delta D_T^3 = \frac{n Q_{\text{ГВП}}^3}{q_T^3} = \frac{n \mu^3 Q_{KV}^3}{q_T^3}. \quad (11)$$

При этом тепловая нагрузка энергетических котлов станции уменьшится на

$$\Delta Q_{KA}^{T3} = \Delta D_T^3 (i_{III} - i_{IV}).$$

Представив как $q_1^{KA} = i_{III} - i_{IV}$ удельный подвод тепла в энергетических котлах, получим выражения для уменьшения тепловой нагрузки энергетических котлов и их расхода топлива в результате частичного вытеснения тепловой нагрузки теплофикационных отборов турбин при подогреве подпиточной воды в ГВП КУ

$$\Delta Q_{KA}^{T3} = n \mu^3 \frac{q_1^{KA}}{q_T^3} Q_{KV}^3; \quad (12)$$

$$\Delta B_{KA}^{T3} = \frac{n \mu^3 q_1^{KA}}{Q_H^P \eta_{KA} q_T^3} Q_{KV}^3. \quad (13)$$

Таким образом, изменение расхода топлива на модернизированной ТЭЦ будет определяться следующими факторами – дополнительным расходом топлива в КС, в камеры дожига КД, вследствие снижения расхода топлива на котельные агрегаты станции в результате уменьшения их паропроизводительности из-за выработки пара в КУ, а также в результате некоторого снижения расхода пара на турбины ТЭЦ, вызванного уменьшением расхода пара из их теплофикационных отборов, вытесняемых при подогреве в ГВП КУ подпиточной воды теплосети

$$\Delta B_{\text{ТЭЦ}}^3 = B_{\text{ГТУ}}^3 - \Delta B_{KA}^3 - \Delta B_{KA}^{T3}; \quad (14)$$

$$\Delta B_{\text{ТЭЦ}}^3 = n \frac{N_{\text{Эз}}^{\text{ГТУ}}}{Q_H^P} \left\{ \frac{(1 + \alpha^3)}{\eta_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}} \eta_{KC}} - \frac{\eta_{KV}^3}{(1 + \mu^3)} \left[\frac{(1 + \alpha^3)}{\eta_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}} \eta_{KC}} - \frac{1}{\eta_{MG}} \right] \frac{1}{\eta_{KA}} \left[\varepsilon + \mu^3 \frac{q_1^{KA}}{q_T^3} \right] \right\}. \quad (15)$$

Частичное вытеснение теплофикационной нагрузки турбин при подогреве подпиточной воды теплосети в ГВП КУ приведет к некоторому снижению выработки электроэнергии

турбоагрегатами на тепловом потреблении. Электрическая мощность турбин ТЭЦ при этом уменьшится на $\Delta N_T^3 = \Delta D_T^3 (i_{III} - i_T^3)$.

Обозначив $h_T^3 = i_{III} - i_T^3$ внутренний теплоперепад пара теплофикационных отборов, можно получить выражение для определения величины снижения теплофикационной мощности турбин

$$\Delta N_T^3 = n \mu^3 \frac{h_T^3}{q_T^3} Q_{KY}^3. \quad (16)$$

В итоге, в среднезимнем режиме работы, изменение электрической мощности ТЭЦ, модернизированной по парогазовому циклу, равно разности

$$\Delta N_{ТЭЦ}^3 = n N_{Э3}^{ГТУ} - \Delta N_T^3.$$

Тогда с учетом (9) и (16), приращение электрической мощности модернизированной ТЭЦ в среднезимнем режиме работы равно

$$\Delta N_{ТЭЦ}^3 = N_{Э3}^{ГТУ} \left[1 - \mu^3 \frac{h_T^3 \eta_{KY}^3}{q_T^3 (1 + \mu^3)} \left(\frac{1 + \alpha^3}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{1}{\eta_{МГ}} \right) \right]. \quad (17)$$

В среднелетнем периоде, вследствие повышения температуры продуктов сгорания на выходе ГТУ и снижения расхода газа через КУ, существенно изменяются характеристики ГТУ и их котлов-утилизаторов – снижается степень дожигания топлива, величины паропроизводительности КУ и тепловой мощности ГВП.

Соответственно, для этого периода работы ТЭЦ, формулы для определения снижения расхода топлива и увеличения электрической мощности станции будут аналогичны выражениям (15) и (17), при подстановке в них значений электрической мощности $N_{Э3}^{ГТУ}$ и КПД $\eta_{Э3}^{ГТУ}$ ГТУ, относительного расхода топлива в КД α^n , КПД КУ η_{KY}^n , относительной величины нагрузки ГВП к тепловой нагрузке паровой части КУ μ^n , внутреннего теплоперепада теплофикационных отборов h_T^n , удельного отвода тепла в сетевых подогревателях q_T^n турбин.

$$\Delta B_{ТЭЦ}^n = n \frac{N_{Э3}^{ГТУ}}{Q_H^P} \left\{ \frac{(1 + \alpha^n)}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{\eta_{KY}^n}{(1 + \mu^n)} \left[\frac{(1 + \alpha^n)}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{1}{\eta_{МГ}} \right] \frac{1}{\eta_{КА}} \left[\varepsilon + \mu^n \frac{q_1^{КА}}{q_T^n} \right] \right\}; \quad (18)$$

$$\Delta N_{ТЭЦ}^n = N_{Э3}^{ГТУ} \left[1 - \mu^n \frac{h_T^n \eta_{KY}^n}{q_T^n (1 + \mu^n)} \left(\frac{1 + \alpha^n}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{1}{\eta_{МГ}} \right) \right]. \quad (19)$$

Если в зимний период на ТЭЦ находятся в работе пиковые водогрейные котлы, то при ее модернизации имеется возможность частичного вытеснения пиковых водогрейных котлов ГВП КУ. В этом случае суммарное секундное снижение расхода топлива на ТЭЦ составит

$$\Delta B_{ТЭЦ}^3 = B_{ГТУ}^3 - \Delta B_{КА}^3 - \Delta B_{ПВК}^3,$$

где $\Delta B_{ПВК}^3 = n \mu \frac{Q_{KY}^3}{Q_H^P \eta_{ПВК}}$ уменьшение расхода топлива на ПВК.

Или

$$\Delta B_{ТЭЦ}^3 = n \frac{N_{Э3}^{ГТУ}}{Q_H^P} \left\{ \frac{(1 + \alpha^3)}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{\eta_{KY}^3}{(1 + \mu^3)} \left[\frac{(1 + \alpha^3)}{\eta_{Э3}^{ГТУ} \eta_{КС}} - \frac{1}{\eta_{МГ}} \right] \left[\frac{\varepsilon}{\eta_{КА}} + \mu^3 \frac{1}{\eta_{ПВК}} \right] \right\}. \quad (20)$$

При этом увеличение электрической мощности ТЭЦ определится суммарной электрической мощностью работающих ГТУ

$$\Delta N_{ТЭЦ}^3 = n N_{Эз}^{ГТУ} . \quad (21)$$

В летний период ПВК отключены и ГВП частично вытесняют нагрузку теплофикационных отборов турбин. При этом секундные значения снижения расхода топлива на ТЭЦ и увеличения ее электрической мощности могут быть определены по выражениям (18) и (19).

Для средnezимнего и средnezлетнего периодов работы модернизированной ТЭЦ величины удельных расходов топлива на дополнительно выработанную электроэнергию (при неизменном отпуске тепла от ТЭЦ) определяются по формулам

$$b_{Э}^3 = \frac{3600 \Delta B_{ТЭЦ}^3}{\Delta N_{ТЭЦ}^3} ; \quad b_{Э}^л = \frac{3600 \Delta B_{ТЭЦ}^л}{\Delta N_{ТЭЦ}^л} . \quad (22)$$

По уровню их мощности и экономичности, наибольший интерес представляет использование при модернизации устаревших ТЭЦ энергетических ГТУ типа НК-37-1, созданных на базе конвертированных авиационных двигателей. Установка на ТЭЦ нескольких ГТУ такой мощности по соображениям надежности, ремонтпригодности и восстанавливаемости представляется более предпочтительной по сравнению с использованием стационарных отечественных ГТУ типов ГТЭ-65 и ГТЭ-110.

С использованием полученных зависимостей проведен расчетный анализ характеристик котлов-утилизаторов и тепловой экономичности ТЭЦ с открытой теплофикационной системой при установке на ней ГТУ НК-37-1 с КУ на 10 МПа, 540°C подключенными к главному паропроводу станции. Газоводяные подогреватели включены в линию подогрева подпиточной воды теплосети. В расчетах минимальные температурные напоры в пароперегревателе и испарителе КУ приняты равными 40 и 30°C. Во всем рабочем диапазоне температур воздуха мощность ГТУ НК-37-1 поддерживается системой регулирования на постоянном уровне $N_{Э}^{ГТУ} = 30$ МВт.

Для средnezимнего периода, при $t_B^3 = -10^\circ\text{C}$, ГТУ НК-37-1 и КУ имеют место следующие показатели: $\eta_{Эз}^{ГТУ} = 0,3635$, $Q_{KV}^3 = 48,38$ МВт, $Q_{ГВП}^3 = 9,15$ МВт, $\alpha^3 = 0,2615$, $\eta_{KV}^3 = 0,782$, $\varepsilon^3 = 0,774$, $\mu^3 = 0,189$. Для средnezлетнего режима при $t_B^л = +15^\circ\text{C}$, $\eta_{Эз}^{ГТУ} = 0,354$, $Q_{KV}^л = 45,8$ МВт, $Q_{ГВП}^л = 8,65$ МВт, $\alpha^л = 0,1535$, $\eta_{KV}^л = 0,817$, $\varepsilon^л = 0,774$, $\mu^л = 0,189$.

На рис. 1 показано влияние температуры наружного воздуха на характеристики КУ и удельный расход топлива на дополнительно выработанную электроэнергию модернизированной ТЭЦ.

Расчеты показывают, что при повышении температуры наружного воздуха и увеличении температуры газа на выхлопе ГТУ происходит снижение степени дожигания топлива перед КУ. При этом его паропроизводительность несколько уменьшается, а КПД паровой части возрастает.

Рис. 2 показывает влияние температуры уходящих газов на выходе из КУ на его характеристики. При повышении температуры уходящих газов снижаются величины относительной тепловой нагрузки ГВП μ и полного КПД η_{KV} КУ. Причем значения η_{KV} уменьшаются при росте температуры уходящих газов. В результате, если КУ работает летом при $t_{Н.В.} = +15^\circ\text{C}$ $t_{УХ} = 80^\circ\text{C}$, то его КПД выше, чем в средnezзимнем режиме при $t_{Н.В.} = -10^\circ\text{C}$, почти на 4 абсолютных процента. Характерно, что при повышении $t_{УХ}$ с 80 до 120°C его КПД снижается более чем на 6,5%.

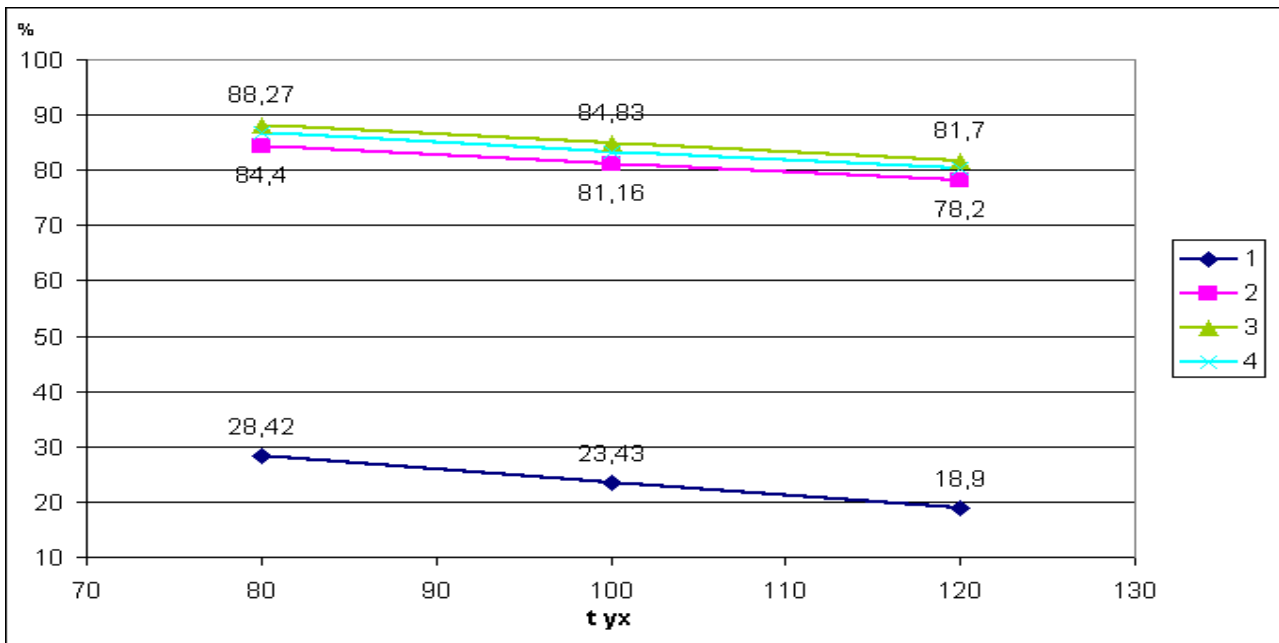


Рис. 1. Влияние температуры наружного воздуха на характеристики КУ и удельный расход топлива на дополнительно выработанную электроэнергию модернизированной ТЭЦ:
 1 – b , г.у.т/кВтч; 2 – α , %; 3 – $\eta_{КУ}^{\pi}$, %; 4 – $D_{КУ}$, т/ч

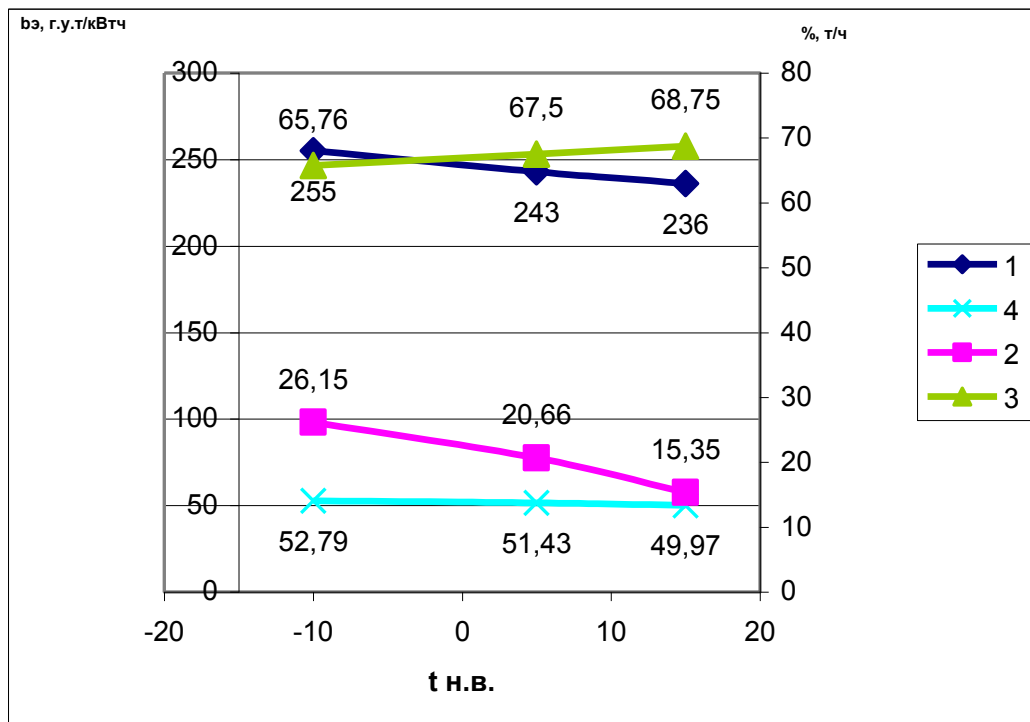


Рис. 2. Характер влияния температуры уходящих газов на полный КПД $\eta_{КУ}$ и долю ГВП относительно паровой части КУ в его тепловой нагрузке
 1 – μ ; 2 – $\eta_{КУ}$ при $t_{н.в.}=-10^{\circ}\text{C}$; 3 – $\eta_{КУ}$ при $t_{н.в.}=+15^{\circ}\text{C}$; 4 – $\eta_{КУ}$ при $t_{н.в.}=+5^{\circ}\text{C}$

У большинства действующих ТЭЦ в летний период резко снижается присоединенная тепловая нагрузка. Выработка электроэнергии турбоагрегатами может производиться пре-

имущественно на конденсационных режимах, что вызывает на ТЭЦ значительное увеличение удельных расходов топлива и себестоимости производимой электроэнергии.

В результате на практике вводятся ограничения на рабочую конденсационную мощность турбоагрегатов этих станций, несмотря на то, что на этих ТЭЦ имеется запас по охлаждающей способности градирен и расходу циркуляционной воды $\Delta G_{ЦВ}$. В то же время, при модернизации ТЭЦ установкой ГТУ с КУ, ее тепловая экономичность существенно возрастает не только при когенерационных режимах работы в отопительный период, но и при конденсационной выработке электроэнергии паровыми турбинами. Вследствие этого появляется возможность увеличения рабочей мощности модернизированных ТЭЦ и использования «запертой» конденсационной мощности за счет имеющихся резервов мощности турбоагрегатов и охлаждающей способности градирен.

При использовании имеющегося на ТЭЦ резерва по расходу циркуляционной воды может быть увеличен расход пара в конденсаторы турбин на величину

$$\Delta D_K = \frac{\Delta G_{ЦВ}}{m},$$

где m – кратность охлаждения конденсаторов.

При этом расход острого пара на турбоагрегаты увеличится на

$$\Delta D_0 = k_p \Delta D_K = k_p \frac{\Delta N_{\text{Э}}^{\text{ПТ}}}{H_i \eta_{\text{МГ}}}. \quad (23)$$

Здесь $k_p, \Delta N_{\text{Э}}^{\text{ПТ}}, H_i$ – соответственно, коэффициент регенерации, дополнительная электрическая мощность паровых турбин, внутренний теплоперепад при их конденсационном режиме работы.

Отсюда

$$\Delta N_{\text{Э}}^{\text{ПТ}} = \frac{1}{m} \Delta G_{ЦВ} H_i \eta_{\text{МГ}}. \quad (24)$$

В результате увеличения конденсационной мощности турбин секундный расход топлива, потребляемого котлоагрегатами ТЭЦ, возрастет на

$$\Delta B_{KA}^N = \Delta N_{\text{Э}}^{\text{ПТ}} \frac{k_p q_1^{KA}}{Q_H^P \eta_{KA} H_i \eta_{\text{МГ}}}. \quad (25)$$

Таким образом, при среднелетнем режиме работы станции с дополнительной конденсационной выработкой электроэнергии ее паротурбинными установками, увеличение секундного расхода топлива на модернизированной ТЭЦ можно представить в следующем виде

$$\Delta B_{\text{ТЭЦ}}^n = \Delta B_{KA}^N + B_{\text{ГТУ}}^n - \Delta B_{KA}^n - \Delta B_{KA}^{Tn}. \quad (26)$$

Здесь $B_{\text{ГТУ}}^n = (1 + \alpha^n) \frac{n N_{\text{Эл}}^{\text{ГТУ}}}{Q_H^P \eta_{\text{Эл}} \eta_{\text{КС}}}$ – расход топлива на газотурбинную установку с дожиганием

топлива перед КУ; $\Delta B_{KA}^n = n \varepsilon^n \frac{Q_{KV}^n}{Q_H^P \eta_{KA}}$ – уменьшение расхода топлива энергокотлами из-за

выработки пара в КУ; $\Delta B_{KA}^{Tn} = \frac{n \mu^n}{Q_H^P \eta_{KA}} \frac{q_1^{KA}}{q_T^n} Q_{KV}^n$ – уменьшение расхода топлива энергокотлами

из-за вытеснения ГВП тепловой нагрузки теплофикационных отборов.

После подстановки этих выражений в (26) получим выражение для определения дополнительного расхода топлива на модернизированной ТЭЦ при ее работе в среднелетнем режиме

$$\Delta B_{ТЭЦ}^n = \Delta N_{\text{Э}}^{ITT} \frac{k_P q_1^{KA}}{Q_H^P \eta_{KA} H_i \eta_{MG}} + \frac{n N_{\text{Эл}}^{ГТУ}}{Q_H^P} \times \left\{ \frac{(1 + \alpha^n)}{\eta_{\text{Эл}}^{ГТУ} \eta_{KC}} - \frac{\eta_{KV}^n}{\eta_{KA} (1 + \mu^n)} \left(\varepsilon^n + \mu^n \frac{q_1^{KA}}{q_T^n} \right) \left(\frac{(1 + \alpha^n)}{\eta_{\text{Эл}}^{ГТУ} \eta_{KC}} - \frac{1}{\eta_{MG}} \right) \right\}. \quad (27)$$

Повышение электрической мощности ТЭЦ в среднелетнем режиме

$$\Delta N_{ТЭЦ}^n = \Delta N_{\text{Э}}^{ITT} + n N_{\text{Эл}}^{ГТУ} - \Delta N_T^n \quad (28)$$

определяется тремя факторами – увеличением конденсационной мощности турбоагрегатов ТЭЦ $\Delta N_{\text{Эл}}^{ITT}$ за счет использования имеющегося на станции резерва по охлаждающей способности градирен, дополнительной электрической мощностью работающих ГТУ $n N_{\text{Эл}}^{ГТУ}$ и некоторым снижением электрической мощности турбин ТЭЦ ΔN_T^n из-за частичного вытеснения их теплофикационной нагрузки в случае подогрева подпиточной воды в ГВП котлоутилизаторов.

Дополнительная конденсационная мощность турбоагрегатов

$$\Delta N_{\text{Э}}^{ITT} = \frac{1}{m} \Delta G_{\text{ЦВ}} H_i \eta_{MG}. \quad (29)$$

Снижение теплофикационной мощности турбин

$$\Delta N_T^n = n \mu^n \frac{h_T^n}{q_T^n} Q_{KV}^n. \quad (30)$$

Здесь $h_T^n = i_{\text{III}} - i_T^n$ – внутренний теплоперепад в турбинах до теплофикационных отборов; $q_T^n = (i_T^n - i_{ST}^n)$ – удельный отвод тепла пара теплофикационных отборов в сетевых подогревателях.

Среднелетняя тепловая нагрузка паровой части котла-утилизатора

$$Q_{KV}^n = N_{\text{Эл}}^{ГТУ} \frac{\eta_{KV}^n}{(1 + \mu^n)} \left[\frac{1 + \alpha^n}{\eta_{\text{Эл}}^{ГТУ} \eta_{KC}} - \frac{1}{\eta_{MG}} \right]. \quad (31)$$

В соответствии с (28) увеличение электрической мощности ТЭЦ в среднелетнем режиме будет определяться выражением

$$\Delta N_{ТЭЦ}^n = \frac{\Delta G_{\text{ЦВ}}}{m} H_i \eta_{MG} + n N_{\text{Эл}}^{ГТУ} \left[1 - \frac{\mu^n}{(1 + \mu^n)} \frac{h_T^n}{q_T^n} \eta_{KV}^n \left(\frac{(1 + \alpha^n)}{\eta_{\text{Эл}}^{ГТУ} \eta_{KC}} - \frac{1}{\eta_{MG}} \right) \right], \quad (32)$$

где $h_T^n = i_{\text{III}} - i_T^n$ – внутренний теплоперепад пара теплофикационных отборов в летний период.

При этом в случае возможности получения на ТЭЦ в летний период дополнительной электрической мощности $\Delta N_{\text{Э}}^{ТЭЦ} = 50$ МВт, суммарное увеличение электрической мощности модернизированной ТЭЦ при установке на ней одной ГТУ НК-37-1 составит 76,6 МВт. Удельный расход условного топлива и электрический КПД, отнесенные к дополнительно выработанной электроэнергии, будут, соответственно, равны $b_3 = 375$ г.у.т/кВт-ч и $\eta_3 = 0,328$. В то же время эти показатели при конденсационном режиме станции без ее модернизации составляли бы $b_3 = 445$ г.у.т/кВт-ч и $\eta_3 = 0,276$.

Можно считать, что модернизированные по парогазовому циклу ТЭЦ окажутся конкурентоспособными на энергетическом рынке в том случае, если в летний период, при конденсационном режиме работы турбин, их удельный расход топлива на производство электроэнергии будет ниже среднего удельного расхода топлива для конденсационных станций РАО ЕЭС.

Среднегодовые величины дополнительной электрической мощности и удельных расходов топлива на дополнительно выработанную электроэнергию b_3 модернизированной ТЭЦ могут быть определены из следующих очевидных соотношений

$$\Delta N_{\text{Эсп}}^{\text{ТЭЦ}} = \frac{\Delta N_{\text{Эз}}^{\text{ТЭЦ}} \tau_3 + \Delta N_{\text{Эл}}^{\text{ТЭЦ}} \tau_l}{\tau_3 + \tau_l}, \quad (33)$$

$$b_{\text{Э}}^{\text{СР}} = \frac{b_{\text{Эз}}^3 \tau_3 + b_{\text{Эл}}^l \tau_l}{\tau_3 + \tau_l}, \quad (34)$$

где τ^3 , τ^l – соответственно число часов работы станции при среднезимних и среднелетних режимах.

Если удельные капиталовложения в кВт мощности ГТУ равны k [\$/кВт], то очевидно, что при модернизации ТЭЦ в случае увеличения на ней выработки электроэнергии в летний период за счет использования «запертой» конденсационной мощности, фактически среднегодовая мощность станции увеличится не на $N_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}}$, а на $\Delta N_{\text{Эсп}}^{\text{ТЭЦ}}$. В этом случае фактически удельные капиталовложения в кВт дополнительной электрической мощности ТЭЦ составят

$$k_1 = k \frac{N_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}}}{\Delta N_{\text{Эсп}}^{\text{ТЭЦ}}}. \quad (35)$$

Для рассмотренного выше примера, при вводе на ТЭЦ одной ГТУ НК-37 и использовании в летний период дополнительной конденсационной мощности турбоагрегатов 50 МВт, величина среднегодовой дополнительной электрической мощности ТЭЦ, если принять продолжительности работы при зимнем и летнем режимах $\tau^3=4700$ ч и $\tau^l=2800$ ч, составит 45,3 МВт.

При этом удельные капиталовложения в киловатт дополнительной электрической мощности ТЭЦ при условии, что стоимость установленного киловатта ГТУ НК-37-1 составляет 450 \$/кВт, окажутся равными 298 \$/кВт.

Таким образом, при модернизации ТЭЦ по парогазовому циклу с использованием возможности дополнительной выработки электроэнергии на имеющихся паровых турбинах станции срок окупаемости капиталовложений в ее модернизацию значительно снизится.

Выводы

Разработана методика определения электрической мощности и удельных расходов топлива на дополнительно выработанную электроэнергию и энергетических характеристик котлов-утилизаторов при установке на ТЭЦ ГТУ с котлами-утилизаторами одного давления пара, снабженными газодыяными подогревателями. Рассмотрены варианты подогрева в ГВП КУ сетевой и подпиточной воды теплосети с частичным вытеснением тепловой нагрузки пиковых водогрейных котлов или сетевых подогревателей турбин.

Показана возможность существенного снижения капиталовложений в модернизацию ТЭЦ в случае использования «запертой» конденсационной мощности турбин станции при наличии имеющихся на ТЭЦ запасов в охлаждающей способности градирен.

Шелудько Леонид Павлович –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» Самарского государственного технического университета

А.Ф. Шкрет

**ОТДЕЛ ЭНЕРГЕТИКИ ПОВОЛЖЬЯ И ЕГО ИНТЕГРАЦИЯ
С ВУЗОВСКОЙ НАУКОЙ**

Приведена информация о научной и научно-организационной деятельности, основных направлениях и главных результатах научных исследований Отдела энергетики Поволжья СЦ РАН и его интеграции с вузовской наукой.

A.F. Shkret

**THE ENERGY DEPARTMENT OF THE VOLGA REGION
AND ITS INTEGRATION WITH THE SCIENTIFIC DIVISION
OF THE HIGHER EDUCATION SCHOOLS**

The information on scientific and scientific-organizational activity, the basic directions and the main results of scientific researches of the Department of Energy of the Volga Region in Saratov Scientific Center Russian Academy of Sciences and its integration with a high school science is given in this article.

Отдел энергетики Поволжья СЦ РАН создан в 1994 году на базе Саратовского филиала Института энергетических исследований РАН, который был образован в 1990 году.

На всем протяжении функционирования Отдела его бессменным директором является заведующий кафедрой «Тепловые электростанции» Саратовского государственного технического университета (СГТУ), Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Р.З. Аминов. Причем кадровую основу сотрудников Отдела составили ученые научной школы саратовских теплоэнергетиков – Проблемной лаборатории СГТУ и его выпускники.

В 2000 г. постановлением Президиума РАН в составе Отдела открыта Лаборатория нетрадиционной энергетики в г. Астрахани при Астраханском государственном техническом университете (АГТУ). Ее руководителем является Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор А.К. Ильин.

Штатная численность Отдела составляет 14 человек, в том числе 4 доктора и 3 кандидата наук. Научной работой занимаются 11 человек, т.е. 78% численности Отдела (в целом по академии наук эта величина составляет 48%).

Сотрудники Отдела работают по тематике фундаментальных исследований РАН, по конкурсным программам ОЭММПУ РАН, по грантам РФФИ и Минобразования РФ, по хозяйственным договорам с предприятиями.

Основными направлениями научных исследований ОЭП СЦ РАН являются:

- разработка научных основ и принципов развития и функционирования энергетического комплекса;
- разработка научных основ новой энергетической политики и механизмов ее реализации в условиях рыночной экономики;
- изучение возможных и обоснование приоритетных направлений научно-технического прогресса в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК);
- разработка научных основ устойчивого и безопасного развития и функционирования объектов энергетики, а также рекомендаций по охране окружающей среды;

- исследование приоритетных направлений энергосбережения и комплексного использования возобновляемых источников энергии;
- развитие теории векторной оптимизации применительно к решению оптимизационных балансовых задач в топливно-энергетическом комплексе.

По основным направлениям научно-технической деятельности Отдела получены следующие главные результаты:

1. Разработаны рабочие гипотезы и критерии оценки эффективности реализации энергетической политики в новых экономических условиях, включающих выбор направления развития и обновления основных производственных фондов действующих электростанций. Выполнен цикл работ по определению критериев устойчивого развития систем «производитель-потребитель энергии». Разработана методология оценки эффективных направлений развития ТЭК с учетом долгосрочных последствий.

2. Выполнены фундаментальные исследования по оценке вероятности состояний и структурной безопасности в режимах обесточивания АЭС. Проведено изучение влияния неблагоприятных природных явлений и катаклизмов (ураганов, землетрясений и т.п.) на устойчивость системных связей атомных электростанций и надежность функционирования их собственных нужд. Разработаны принципы снижения риска запроектных аварий на реакторах ВВЭР-1000 путем дополнительного резервирования каналов собственных нужд. Предложен ряд новых решений, в том числе и комбинирование газотурбинных установок на органическом топливе с АЭС, с целью повышения безопасности АЭС. Разработан и предложен механизм нормирования показателей безопасности атомных электростанций.

В 2002 г. за комплекс работ по защите окружающей природной среды и человека энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 на базе Балаковской АЭС директор ОЭП СНЦ РАН Р.З. Аминов удостоен премии Правительства РФ.

3. Проводится изучение путей эффективного использования возобновляемых источников энергии в южных регионах страны. Выполнено изучение располагаемого потенциала солнечной энергии на юге Поволжья, а также возможных путей его полезного использования. Ведутся работы по созданию экспериментальной гелиоохладительной и гелиоэнергетической установок.

Отдел принимал активное участие в разработке программ энергосбережения Саратовской и Астраханской областей.

4. Разрабатывается методология векторной оптимизации для решения структурных, балансовых и распределительных задач в энергетике. В основе разрабатываемой методологии применительно к сложным функциям с ограничениями в виде уравнений связи, лежит принцип строгого раскрытия «неопределенных» множителей Лагранжа и перевод их в категорию «определяемых». Реализация этого принципа позволяет создавать безытерационные модели вектора-градиента функций Лагранжа практически неограниченной степени сложности. Это открывает новые горизонты создания программ и методов оптимального управления, отличающихся высокой точностью и быстродействием. На этой основе разрабатывается программное обеспечение нового поколения, способное решать задачи оперативного управления режимами работы электрических станций.

К важнейшим научно-исследовательским работам Отдела, готовым к практическому использованию, можно отнести следующие.

1. Программа оперативной оптимизации загрузки оборудования электростанций.

Разработана методология векторной оптимизации режимов работы оборудования электростанций и оптимального оперативного распределения активных нагрузок между электростанциями в энергосистеме. Созданы программы нового поколения, позволяющие выбирать рациональный состав работающего оборудования, определять оптимальную загрузку каждой из установок, общую экономию топлива и денежных затрат, а также получать интегральную характеристику относительных приростов затрат станции в целом. Реализация

таких программ позволяет снизить расход топлива на станции на 3-5 г у.т./кВт.ч, на 3-4 кг у.т./Гкал и экономию затрат в энергосистеме на 3-5%.

В отличие от известных программ данная методология позволяет реализовать безытерационные принципы расчета, что значительно повышает точность расчетов, существенно сокращает время счета и полностью исключает возможность получения ошибочного результата при наличии невыпуклых характеристик. Получено свидетельство Российского агентства по патентам и товарным знакам об официальной регистрации программы на ЭВМ № 990081 «Программа оптимизации оперативного распределения активной нагрузки в энергосистеме».

Программа расчета полностью готова, но требует индивидуальной доработки для конкретных объектов.

2. Обоснование экономической эффективности и целесообразности завершения строительства и ввода в эксплуатацию 5-го энергоблока с оценкой перспектив строительства 6-го блока Балаковской АЭС.

В основе исследования лежит прогноз развития электроэнергетики региона, технико-экономическое сопоставление различных вариантов развития генерирующих мощностей и обоснования путей обеспечения расширения Балаковской АЭС базисной электрической нагрузкой. Кроме этого, разработана методика, позволяющая определять оптимальные параметры систем теплоснабжения от АЭС. Проведены исследования различных схем теплоснабжения с учетом удаленности теплоисточника, надежности и экологической безопасности теплоснабжения от АЭС. Выполнена оценка системной и социальной эффективности теплоснабжения от АЭС.

3. Методология нормирования показателей надежности и безопасности атомных электростанций с водо-водяными реакторами.

В основе методики лежит сопоставление рисков от крупных аварий АЭС и затрат на их снижение. При этом учтены следующие виды рисков: материальный, экономический, социальный и политический риск, а также снижение полного системного риска АЭС с ВВЭР. Методика позволяет определять социально-приемлемые уровни безопасности современных АЭС.

За последние годы большое внимание научной и научно-педагогической общественности страны уделяется проблемам интеграции науки и образования, привлечению в науку молодежи.

Научные сотрудники Отдела участвуют в подготовке инженерных и научных кадров в Саратовском и Астраханском государственных технических университетах, проводят совместные научные исследования по прикладным и фундаментальным проблемам энергетики. Это способствует обеспечению фундаментальной основы подготовки специалистов – инженеров и аспирантов, объединению знаний и научных кадров академического учреждения и университетов для совместного проведения фундаментальных исследований, использования научной, информационной и лабораторной базы этих учреждений для проведения научных исследований и образования.

Участие ученых ОЭП СНЦ РАН в учебно-образовательном процессе не только повышает качество подготовки молодых специалистов, но во многом способствует привлечению молодежи в фундаментальную науку. Отдел постоянно привлекает студентов старших курсов к выполнению научно-исследовательских работ, ежегодно принимает на работу двух-трех молодых специалистов, которые в дальнейшем поступают в аспирантуру университетов.

В то же время необходимо отметить, что активное участие в фундаментальных исследованиях ОЭП СНЦ РАН принимают такие ученые СГТУ и АГТУ, как профессора А.И. Андрющенко, В.А. Хрусталева, доценты М.С. Доронин, С.В. Новичков, В.Д. Доронина, Н.Д. Шишкин, М.Ф. Руденко и другие.

Можно выделить следующие совместно выполненные за последние годы научно-исследовательские работы:

1. Программы энергосбережения Саратовской и Астраханской областей на перспективу.

2. Социально-экономическая и экологическая приемлемость сооружения 2-й очереди Балаковской АЭС.

3. Разработка критериев и изучение эффективных путей повышения безопасности и надежности АЭС с ВВЭР в энергосистемах.

4. Исследование направлений и методов повышения эффективности использования солнечной энергии.

Все эти работы в той или иной мере получили внедрение на отдельных предприятиях и в народном хозяйстве региона.

Совместно написано учебное пособие для вузов «Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС», авторы Р.З. Аминов, Г.П. Гладышев, Д.П. Елизаров, Е.А. Ларин, под редакцией А.И. Андрющенко.

Практически ежегодно совместно готовятся и издаются сборники научных статей по различным проблемам развития энергетики, организуются и проводятся всероссийские и международные научно-практические конференции. Здесь можно отметить такие конференции, как «Энергетика Поволжья – проблемы развития», г. Пенза, 2001 г.; «Проблемы развития централизованного теплоснабжения» г. Самара, 2004 г.

В Ученый совет ОЭП СЦ РАН входят такие ученые СГТУ, как профессора А.И. Андрющенко, В.А. Хрусталева, доценты М.С. Доронин, В.А. Медведев. Их опыт и знания помогают формировать планы НИР Отдела по актуальным проблемам энергетики, их ценные замечания и рекомендации учитываются в исследованиях ученых.

На всех этапах развития и функционирования Отдела энергетики Поволжья в вопросах формирования направлений научных исследований, обсуждения программ и результатов исследований неограниченную помощь оказывал и оказывает профессор А.И. Андрющенко, являющийся членом научно-технического Совета ОЭП СЦ РАН.

Интеграция академической и вузовской науки взаимовыгодна. Например, директор Отдела Р.З. Аминов заведует кафедрой «Тепловые электростанции» СГТУ, является председателем диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, членом экспертного совета ВАК России. Кроме этого, он является членом Совета по науке и высоким технологиям при губернаторе Саратовской области, членом Научного совета РАН «Теплоэнергетика и теплофизика», председателем Поволжского межрегионального отделения Международной энергетической академии.

Заведующий Лабораторией нетрадиционной энергетики ОЭП СЦ РАН А.К. Ильин заведует кафедрой «Теплоэнергетика и гидромеханика» АГТУ, является председателем ученого совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, членом бюро Объединенного научного совета Миннауки и РАН по проблеме «Нетрадиционная энергетика».

Молодые специалисты Отдела учатся в заочной аспирантуре Саратовского и Астраханского государственных технических университетов. За последние 5 лет под научным руководством сотрудников Отдела подготовлены и защищены две докторские и три кандидатские диссертации, подготовлены к защите одна докторская и три кандидатские диссертации.

Сотрудники Отдела активно участвуют во всероссийских и международных конференциях и симпозиумах, результаты исследований публикуют в центральных журналах и сборниках научных трудов. За последние пять лет опубликовано 72 статьи и уже в этом году подготовлены и сданы в печать 14 статей. Отдел ежегодно выпускает сборник трудов под названием «Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса».

Сотрудники Отдела имеют тесные связи с Институтом высоких температур РАН, Институтом энергетических исследований РАН, Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, с кафедрами энергетического профиля Самарского, Ульяновского государственных технических университетов, Лабораторией нетрадиционной энергетики ДВО РАН, Региональной энергетической комиссией и Лабораторией энергосбережения «Астраханьгосэнергонадзора», Международной энергетической академией, Международной

академией экологии и безопасности жизнедеятельности, ОАО «Самараэнерго», «Саратовэнерго» и «Астраханьэнерго», Балаковской АЭС и др.

В настоящее время в Российской академии наук, следуя курсу, объявленному правительством (бюджетирование, ориентированное на результат), проводится внедрение программно-целевого планирования и конкурсного финансирования научных исследований с усилением инновационной деятельности и внедрение фундаментальных исследований в производство. В этой связи тесные интеграционные связи академических институтов и вузов будут расширены не только в плане совместного проведения научно-исследовательских работ, но и в инновационной деятельности, так как вузы располагают соответствующими кадрами и внедренческими структурами.

Шкрет Александр Филиппович –

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник Отдела энергетики Поволжья СИЦ РАН

УДК 620.9:662.92; 658.264

Т.Д. Штерн

МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ШВЕДСКО-РОССИЙСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Рассмотрены направления шведско-российского сотрудничества в области биоэнергетики.

T.D. Stern

MONITORING OF DEVELOPMENT OF BIO-ENERGETICS IN NORTHWEST REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION – THE SWEDISH -RUSSIAN COOPERATION

This article considers the ways of the Swedish-Russian cooperation in area bio-energy.

Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК), принятая на конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году, определила пути и способы сотрудничества стран для обеспечения мер, предотвращающих изменение климата.

Обеспечение природоохранных технологий и экономичное использование ресурсов – условие выживания всего человечества, а не только отдельно взятой страны. Поэтому в статье 4 РКИК страны-участницы обязуются разработать и внедрить национальные программы, включающие меры по предотвращению изменения климата, а также сотрудничать в разработке, применении и распространении, включая обмен, технологий и процессов, позволяющих контролировать, уменьшать и предотвращать антропогенную эмиссию парниковых газов. Та же самая статья подчеркивает необходимость финансовой и технологической поддержки, которую развитые страны должны оказывать развивающимся странам и странам, встающим на путь рыночной экономики, так как эти страны в ближайшем будущем вряд ли

смогут в полной мере следовать принятой РКИК. *При этом целесообразно сотрудничество между странами в совместном осуществлении (JI – Joint Implementation) проектов, позволяющее снизить выбросы в тех регионах, где затраты на 1 тонну снижения выбросов будут минимальными.*

Энергетика признана областью, особенно подходящей для работ по совместному осуществлению проектов. Для проведения в жизнь положений РКИК была рекомендована кооперация в выполнении региональных программ в области энергетики, т.е. их совместное осуществление.

После подписания РКИК ООН 150 странами в июне 1992 года и одобрения ее Шведским парламентом, кроме того, были приняты осенью 1992 и весной 1993 года соответственно: Закон об улучшении экологии Балтийского моря и Закон о политике в области окружающей среды и климата. Весной 1993 года Шведский Государственный Комитет по техническому и индустриальному развитию (NUTEK) по заданию правительства начал проведение в жизнь программы, направленной на улучшение энергетических систем в странах Балтики и Восточной Европы, получившей название «Природосберегающие энергосистемы в странах Балтики и Восточной Европы» (Environmentally Adapted Energy System – EAES), которая финансировалась в соответствии с вышеназванными Законами. Программа являлась вкладом Швеции в выполнение РКИК ООН и в пилотную фазу совместно осуществляемых мероприятий. С 1998 года руководство программой EAES осуществляет Шведское Энергетическое Управление (Swedish Energy Agency – STEM).

Целью шведских инвестиций являлся перевод котельных на сжигание биотоплива, повышение эффективности теплоснабжения зданий, обновление тепловых сетей и комплексные проекты по осуществлению теплоснабжения районов.

EAES-программа способствует:

- снижению эмиссий, вредно действующих на климат и окружающую среду;
- экологически надежному развитию энергетического сектора;
- экономическому развитию и деловой кооперации;
- созданию широкой сети;
- передаче знаний о рыночной экономике и открытой конкуренции;
- развитию инфраструктуры;
- экологическому мышлению.

Перевод установок, работающих на угле и мазуте, на древесное топливо значительно улучшает экологическую обстановку как в регионе, так и на планете в целом. Сжигание ископаемых видов топлива – один из самых крупных источников выбросов двуокиси углерода вне естественного углеродного цикла. Сжигание же древесных отходов, напротив, входит в этот цикл. Швеция, значительная часть территории которой покрыта лесами, является одним из мировых лидеров в использовании альтернативных источников энергии, в частности, биотоплива. 80% наиболее крупных муниципалитетов Швеции используют в настоящее время в своих тепловых сетях биотопливо, как основное. Начиная с 1980 года, когда легкий мазут составлял около 90 % топлива для теплоснабжения, доля биотоплива увеличивается ежегодно. В 2002 году из 55 ТВтч энергии, используемой для производства тепла для тепловых сетей 33 ТВтч, или 60 % потреблялось в виде биотоплива. Кроме того, ежегодно увеличивается производство электроэнергии на биотопливе. Биотопливо составляет более четверти общего энергопотребления в Швеции. В последние годы значительно увеличивается потребление обгазованного топлива в виде гранул (пеллет) для отопления вилл, общественных зданий, а также на ТЭЦ.

Россия обладает гигантскими лесными запасами, и в то же время на лесосеках и на территориях предприятий по переработке древесины скапливаются огромные количества древесных отходов. Использование этих отходов в энергетическом секторе даст большие преимущества по сравнению с ископаемым топливом: отсутствие выбросов углекислого газа,

уменьшение выбросов окислов азота и двуокиси серы, дешевые цены и независимость от поставок ископаемого топлива, новые рабочие места в малонаселенных районах. Преимущества использования биотоплива в котельных подтверждены работой более 60 действующих установок в странах Балтики и Восточной Европы.

В ходе реализации Программы EAES в России шведские партнеры и представители российских лесных, энергетических и природоохранных ведомств пришли к осознанию необходимости разработки стратегической Программы оздоровления русского леса. В частности, было предложено применять отходы лесопользования в локальной малой энергетике, включая котельные, расположенные в пределах 100 км от мест получения отходов. Продажа отходов от санитарных рубок и рубок ухода сделает их экономически выгодными, позволит освободить российские леса от перестоявшей осины и других пород, увеличивая при этом поглощение двуокиси углерода здоровым лесом.

Швеция увеличивает темпы использования древесного топлива для получения не только тепла, но и электроэнергии, обеспечивая при этом передовой уход за лесом. Важно использовать любые отходы от ухода за лесом. Только отходы от сплошной рубки на одном гектаре леса могут обогреть квартиру площадью 60 квадратных метров в течение десяти лет (при годовом потреблении 250 кВтч/м² в год). Для России, с ее лесными запасами, к тому же нуждающимися в скорейшем санитарном уходе, демонстрация шведских технологий в проектах программы EAES была очень актуальна.

С 1994 года, когда шведская программа начала осуществляться в России, выполнено 12 проектов, включающих реконструкцию котельных для сжигания древесных отходов, прокладку тепловых сетей из предизолированных труб и установку тепловых пунктов в зданиях, что позволяет снизить теплопотребление примерно на 20% при обеспечении температуры внутри помещений 18°C. Программа выполнялась в Ленинградской, Калининградской областях и Республике Карелия. В результате в Ленинградской области эксплуатируются четыре проекта, шесть проектов – в Калининградской области и три проекта в Карелии. По инициативе и при поддержке STEM с 1996 года в России был проведен ряд международных конференций.

Первый проект был осуществлен в Тосненском районе Ленинградской области в поселке Лисино-Корпус. В 1996 году один из четырех мазутных котлов в котельной, снабжающей теплом и горячей водой все жилые здания и учебные корпуса поселка, был заменен на новый, работающий на биотопливе. В 1999 году был выполнен второй этап проекта – произведена замена старых тепловых сетей и установлены тепловые пункты в 22 зданиях, что дало энергосбережение в размере 20-30% от прежнего теплопотребления. Лисинский лесхоз-техникум производит древесную щепу для собственного потребления, а также с 1998 года снабжает древесной щепой котельную в поселке Красный Бор, находящуюся от Лисино в 25 километрах.

Второй проект – перевод угольной котельной в поселке Белоостров Сестрорецкого района на сжигание древесного топлива был осуществлен, к сожалению, в значительно меньшем объеме, чем планировалось. Проект планировался как системный, предполагалось закрытие четырех угольных котельных в школе и детских садах и теплоснабжение их от экологически чистой котельной на древесных отходах, прокладка тепловых сетей из предизолированных труб и установка тепловых пунктов. Однако, удалось выполнить только реконструкцию четырех чугунных секционных котлов «Тула-3». Прокладку тепловых сетей уже в течение трех лет планирует осуществить сам владелец ГП «Топливо-энергетический комплекс СПб».

Выполнены два системных проекта, включающих все три направления программы: установку котла на древесном топливе, повышение эффективности теплопотребления в зданиях и снижение потерь тепла при его распределении и транспорте потребителю. Один из этих проектов позволил значительно улучшить экологическую обстановку в городе

Правдинске Калининградской области благодаря закрытию десяти угольных котельных, расположенных в подвалах жилых и общественных зданий с давно отработавшим свой срок оборудованием с низким коэффициентом полезного действия. Другой проект выполнен в поселке Красный Бор Ленинградской области. Еще один из проектов имеет большое демонстрационное значение - котельная, расположенная в одном из центральных районов Калининграда, позволяет утилизировать отходы деревообработки, обеспечить «чистым» теплом собственное производство и близлежащие городские здания. Три проекта реализованы в Карелии – работают котельные на древесном топливе в поселке Деревянное и в поселке Деревянка. Там установлено 3 котла мощностью 1,2-2,5 МВт на древесных отходах, что позволит ежегодно экономить 1350 тонн мазута и 1200 тонн угля. На Ильинском лесозаводе произведена реконструкция двух котлов ДКВР – 10-13 для сжигания древесных отходов своего же производства. Весной 2002 года на базе Лисинского лесхоза-техникума был создан российско-шведский учебно-информационный центр биоэнергетики (Биоцентр). Его членами являются предприятия и организации, занимающиеся вопросами лесозаготовки, лесопереработки и т.п. Биоцентр открыт для всех желающих сотрудничать в области использования биотоплива.

Направления работы Российско-Шведского учебно-информационного Центра биоэнергетики:

- распространение информации о биоэнергетике;
- распространение опыта сжигания биотоплива;
- проведение курсов для всех звеньев персонала, занятого в биоэнергетике – администраторов, производителей топлива, операторов котельных и т.д.;
- помощь в оценке возможностей производства и сжигания биотоплива в регионах;
- подготовка информационных материалов;
- помощь в налаживании контактов между производителями, поставщиками и потребителями;
- изучение возможностей развития совместного производства оборудования, передача технологий и т.п.;
- широкая пропаганда метода в районах России, где имеются ресурсы древесного топлива, особенно в Северо-Западном регионе.

В БиоЦентре проводятся семинары по обучению менеджменту в различных вопросах биоэнергетики, а также обучение операторов по эксплуатации котлов на биотопливе. Подготовлены пособия для обучения: управлению использованием биотоплива, выбору решений при сооружении котельных на биотопливе, операторов по эксплуатации котлов на биотопливе и т.д.

В контексте интеграции стран Европы и перехода России к рыночной экономике, северную Европу, включая Северо-Западный регион России, можно считать единым глобально важным регионом использования и поставки биомассы. С точки зрения глобальной экологии, утилизация биомассы отходов лесной промышленности может стать идеальным решением для задачи производства энергии благодаря её благоприятному энергетическому балансу, её универсальности в разных климатических условиях и её экологическим преимуществам. В удалённых районах введение новых цепочек производства сырья для возобновляемой энергетики, безусловно, окажет положительное влияние на устойчивое развитие. Однако, одним из важнейших условий для этого является то, что этот тип биомассы должен производиться в устойчивом лесном хозяйстве. Более того, использование лесной биомассы для различных целей будет жизнеспособным и осуществимым, когда будут учтены все социальные и экологические преимущества и затраты.

Швеция имеет уже более чем тридцатилетний опыт такого использования биомассы. Подобное развитие должно предусматриваться и для Северо-Западного региона России, поэтому совместные исследования в этой области очень важны для обеих стран.

В 2003 году Шведское энергетическое управление (STEM) инициировало финансовую поддержку российско-шведского научно-исследовательского проекта «Исследования и высшее образование в области создания устойчивой системы получения и утилизации биотоплива и производства энергии в Северо-Западном регионе Российской Федерации». Проект направлен на развитие биоэнергетики в Северо-Западном регионе России.

Цель проекта:

- собрать и представить информацию об устойчивом использовании биотоплива для производства энергии в Северо-Западном регионе Российской Федерации;
- оптимизировать технологические цепочки от получения сырья до конечного продукта путем снижения затрат на производство тепло- и электроэнергии на древесном топливе;
- увеличить понимание роли биотоплива в обществе;
- способствовать развитию рынка энергии на биотопливе;
- способствовать подготовке исследователей в области биоэнергетики.

Важной научно-практической стороной данного проекта является его всеохватывающий междисциплинарный характер и системный подход к рассмотрению всей цепочки производства и использования биоэнергии. Русско-шведский двусторонний проект по развитию биоэнергетики в Северо-Западном регионе России подготовит всесторонний обзор современного состояния систем производства и использования биоэнергии в Европейской части России. Он включает в себя также сравнение с действующими системами производства и использования биоэнергии в Швеции. Эта работа будет вкладом в развитие научных исследований и образования в обеих странах и будет способствовать обмену информацией между партнерами и странами. Координатором проекта является кафедра биоэнергетики Шведского университета сельскохозяйственных наук. Русские участники – Санкт-Петербургская лесотехническая академия и БиоЦентр, объединяющий исследователей из Санкт-Петербурга, Москвы, Архангельска и Карелии.

Результаты исследовательской работы должны докладываться на международных конференциях и ежегодных семинарах. С 1996 года в рамках программы EAES проведены семинары в городах Санкт-Петербурге, Пушкине и Лисинском Лесном Колледже. Первый семинар в рамках исследовательского проекта был проведен в апреле 2003 года. Второй семинар проведен в июне 2004 года. Главным предметом обсуждения на этом семинаре должны стать вопросы стандартизации биотоплива и его использования в Европе и в России. Кiotский протокол и политические решения Европейского Союза в области энергетики и охраны окружающей среды увеличивают интерес к биоэнергетике, что приведет к росту торговли биотопливом. Главная задача – сделать эти семинары полезными для исследователей, государственных ведомств и компаний, работающих в области биоэнергетики.

Ассортимент биотоплива достаточно разнообразен и необходимость стандартизации и классификации для стимулирования развития рынка очевидна. В Европейском Союзе уже начал осуществляться долгосрочный проект по стандартизации, использование новых стандартов позволит улучшить рынок биотоплива. Шведский институт стандартизации вместе с другими европейскими институтами участвует в этом проекте. Раздел «Твердое биотопливо – Терминология, определения и описание (CEN/TS 14588)» уже выполнен.

Россия имеет огромные ресурсы биотоплива и стандартизация является ключевым вопросом как для стимулирования и поддержки быстро растущего российского рынка биотоплива и использования его для производства энергии, так и для выхода на Европейский рынок.

Следующим шагом российско-шведского сотрудничества стало создание филиалов Российско-Шведского учебно-информационного центра биоэнергетики. Направления и виды деятельности по программе создания филиалов Российско-Шведского учебно-информационного центра биоэнергетики следующие:

- накопление и распространение информации по получению и использованию новых природосберегающих технологий утилизации биотоплива;

- демонстрация и пропаганда технологии сжигания биотоплива в природосберегающих котлах;
- демонстрация и распространение информации о методах производства древесного топлива в условиях современного лесоводства и их природосберегающем эффекте;
- курсы по обучению и тренингу специалистов в сфере биоэнергетики и организация и развитие учебной базы;
- проведение семинаров, встреч, ознакомительных поездок;
- поддержка развития исследований и высшего образования в сфере биоэнергетики в обеих странах;
- организация и развитие web-site.

БиоЦентр должен продолжать исследовательскую деятельность и обучение в вопросах, связанных с биоэнергетикой, путем сотрудничества в двухстороннем шведско-русском исследовательском проекте в следующих вопросах:

- эффективность процессов очистки биотоплива в лесной промышленности;
 - анализ использования биотоплива в лесной промышленности;
 - снижение вредных выбросов лесной промышленностью при использовании биотоплива;
 - маломасштабное муниципальное теплоснабжение на биотопливе.
- Информационная деятельность БиоЦентра связана с решением следующих вопросов:
- содействие в организации контактов между государственными управлениями, производителями, продавцами и покупателями;
 - подготовка информационного материала;
 - сбор и обработка информации по передовому опыту в сфере биоэнергетики;
 - планирование и проведение в России семинаров, встреч, круглых столов;
 - публикация информации о проведении в России семинаров, встреч, круглых столов для новых потенциальных пользователей и производителей биоэнергии;
 - подготовка и поддержка web-site по биоэнергетике.

Десятилетнее российско-шведское сотрудничество в области биоэнергетики уже показало свою плодотворность. В дальнейшем планируется расширять деятельность, охватывая все более и более обширные регионы России, привлекая к сотрудничеству заинтересованные организации как на национальном, так и на международном уровнях.

Штерн Татьяна Давидовна –

кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Биоэнергетика»
Шведского университета сельскохозяйственных наук

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

УДК 656.073

С.А. Гусев, Д.А. Красникова, А.Е. Добрыднев

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

Рассматриваются качество и конкурентоспособность автотранспортных услуг в логистических системах. Обсуждаются вопросы управления, взаимосвязи и взаимозависимости показателей качества функционирования, выраженные моделью расчета энтропии системы и определения механизма адаптации автотранспортных компаний в рыночных условиях.

S.A. Gusev, D.A. Krasnikova, A.E. Dobridnev

QUALITY INDICES AND ABILITY OF COMPETITION INTERACTION OF AUTOTRANSPORT SERVICES

Quality and ability of competition of auto transport services in the logistical systems are considered in the article. Management, interaction and interdependency questions of quality functioning indices, expressed by system entropy calculation model are discussed here. Auto transport company adaptation mechanism in the market conditions is also defined.

Учитывая многогранность свойств, которые включает в себя понятие «качество», его необходимо рассматривать как систему. Стандартизовано следующее определение качества: качество – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

При уточнении термина «качество» в 1994 году из его прежних определений был исключен термин «свойства». Если расположить термины по общности понятий о качестве, то получим ряд: «характеристики» – «свойства» – «качество».

Характеристика – это взаимосвязь между зависимыми и независимыми переменными, выраженными в виде текста, таблицы, математической формулы, графика.

Согласно международным стандартам, система качества – совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего изменения качества.

Функционирование логистической системы автотранспортного предприятия определяется причинно-следственными связями между множеством параметров, при этом качество функционирования оценивается степенью достижения основных параметров поставленных целей и рассматривается в контексте логистики следующим образом:

- оценка предоставленной услуги исполнителем;
- оценка полученной услуги заказчиком;
- проверка эффективности всех элементов системы качества услуг.

По определению: услуга (транспортная в том числе) – это результат взаимодействия исполнителя услуги и клиента, результат внутренней деятельности исполнителя по удовлетворению потребностей клиента, а предоставление услуги – это деятельность исполнителя услуги, необходимая для обеспечения ее с целью удовлетворения потребителя [5].

Услуга, в отличие от продукции, имеет свои специфические особенности. Основные особенности зависят от уровня участия в ней заказчика и содержания в услуге материальной продукции – от высокого, когда необходимость в услуге возникает с появлением материальной продукции (например, – эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт сооружений, транспортных средств, производственного оборудования, бытовых приборов), до низкого, когда материальная продукция играет незначительную роль (например – юридическая услуга, управленческая и образовательная деятельность и т.п.).

Услуга более приближена к потребителю, чем продукция. Происходит это потому, что услуга проявляется в момент ее совершения, в то время, как производство продукции изолировано от потребителя. Качество продукции воспринимается в первую очередь через качество обслуживания при ее продаже. В момент покупки происходит сравнение не только продукции, но и ожидаемой услуги с реальной (воспринятой).

Эффективная система качества должна быть спроектирована и функционировать так, чтобы удовлетворялись запросы и ожидания, как внешних потребителей, так и самой организации. Удовлетворенность запросов и ожиданий потребителей обеспечивается достижением и постоянным поддержанием установленного потребителями уровня качества. Удовлетворенность интересов и запросов организации достигается эффективностью использования ею имеющихся у нее ресурсов.

Необходимым условием результативности функционирования системы качества является контроль за техническими, административными и человеческими факторами, влияющими на качество выпускаемой продукции.

В соответствии с идеологией стандартов ISO 9000 можно выделить четыре следующих направления деятельности в области качества, посредством которых система качества воздействует на процесс формирования качества продукции и услуг на различных этапах их жизненного цикла: планирование, управление, обеспечение и улучшение качества [3].

Планирование качества включает деятельность по установлению целей и требований к качеству и применению элементов системы качества.

Управление качеством включает в себя методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству.

Обеспечение качества включает все планируемые и систематически осуществляемые виды деятельности в рамках системы качества, необходимые для создания и подтверждения достаточной уверенности в том, что объект (продукция, процесс или услуга) удовлетворяет требованиям к качеству.

Приведенное описание параметров качества функционирования носит философский характер, и для определения численных значений показателей качества предоставляемых услуг автотранспортной компанией предлагается воспользоваться методикой системно-информационного анализа, основанной на определении способностей системы достигать поставленные цели, а степень их недостижения определять как всеобъемлющий показатель качества предоставляемых услуг.

Другими словами, чем меньше соответствие внутренних свойств предприятия характеристикам внешней среды, тем меньше оно будет приспособлено к объективным условиям работы, тем больше будет разброс между поставленной целью и полученным результатом, тем ниже качество функционирования. Количественно этот разброс, а следовательно, и уровень качества предоставления услуг, может быть оценен с помощью уровня организованности функционирования системы.

Если рассматривать систему и составляющие ее элементы с трех позиций: состава, структуры и свойств, то и организованность должна проявляться в трех основных разделах в отношении состава, структуры и свойств, как на уровне системы, так и на уровне ее элементов.

Организованность является функцией более простых характеристик системы: упорядоченности и сложности.

На практике, когда задана цель, важно знать не «абсолютную» организованность функционирования, а неорганизованность, поскольку именно она является оперативной информацией о качестве организации и функцией элементарного понятия неупорядоченности.

Неупорядоченность – это мера различия какого-либо выбранного параметра, например X_j , в отношении эталона порядка $X_{эм}$, которая стремится к нулю при $X_j \rightarrow X_{эм}$.

Поскольку в общем случае центр упорядоченности представляет собой не точку, а некоторую область, которая называется квазиупорядоченной зоной, то неупорядоченность рассматривается в отношении границ этой зоны $f(x_j)$.

Тогда модель неупорядоченности \bar{Y}_j будет иметь вид:

$$\bar{Y}_j = [x_j - x_{эм}] - f(x_j), \quad \bar{Y}_j \geq 0. \quad (1)$$

В более общей форме, оперируя с векторной величиной, можно перейти к выражению

$$\bar{Y}_j = q_j - f(x_j), \quad (2)$$

где q_j – модуль вектора рассогласования.

Так же, как упорядоченность, организованность легче измерять обратной величиной – неорганизованностью. В литературе дано определение неорганизованности, предложена общая модель, соответствующая этому определению, и рассмотрены ее основные свойства [2].

Цели полностью не достигаются из-за несоответствия возмущающих воздействий со стороны внешней среды, в которой приходится действовать предприятию, и его свойств. Предприятия вынуждены приспособляться к своей среде, чтобы выжить и сохранить эффективность [1]. АТП является открытой системой и поэтому внешняя среда для него имеет важное значение. Учесть все факторы окружающей среды просто невозможно, поэтому необходимо учитывать только те, которые решающим образом влияют на успех функционирования транспортного предприятия. Например, по мнению Д. Белла: «Внешняя среда организации включает такие элементы, как клиенты, поставщики, конкуренты, правительственные учреждения, законодательная база, финансовые организации и источники трудовых ресурсов» [6].

Таким образом, АТП представляет собой сложную, весьма своеобразную динамичную систему, предъявляющую повышенные требования к организации производственных процессов.

В соответствии с этими соображениями, для оценки неорганизованности функционирования АТП модели целевой энтропии H_u и максимальной H_{max} примут следующий вид:

$$H_u = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K P_{ijk} \times \ln((q_{ijk} - \xi(X_{ijk})) w_{ijk} + 1), \quad (3)$$

$$H_{max} = \ln \left\{ \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J \max_k ((Q_{ijk} - \varepsilon(x_{ijk})) \times \omega_{ijk} + 1) \right\}, \quad (4)$$

где I, J, K – соответственно, число элементов, параметров цели и интервалов времени, по которым обобщается энтропия системы; P_{ijk} – вероятность возникновения рассогласования; q_{ijk} – модуль вектора рассогласования; $\varepsilon(x_{ijk})$ – граница квазиупорядоченной зоны; w_{ijk} – логическая переменная.

Назначение логической переменной w_{ijk} – обнулять значение параметра неупорядоченности, а следовательно и значение энтропии, если $q_{ijk} - \varepsilon(x_{ijk}) < 0$.

Поэтому справедлива следующая математическая запись:

$$w_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если } q_{ijk} - \varepsilon \geq 0, \\ 0, & \text{если } q_{ijk} - \varepsilon < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Итак, каждому вектору состояния организованности функционирования должен соответствовать вектор цели, состоящий из тех же показателей, что и вектор состояния. В зависимости от методик получения численных значений факторов, свойства векторов цели будут разными.

Совокупность показателей, характеризующих уровень организованности функционирования системы, полностью определяется особенностями этой системы и, прежде всего, ее назначением, составом, структурой и свойствами.

Для разработки методики количественных оценок адаптационных свойств необходимо выявить набор параметров, отражающих организованность функционирования автотранспортного предприятия в целом, его отдельных элементов и основных процессов.

При разработке концепции формирования адаптационных свойств было установлено, что уровень адаптации количественно может быть оценен с помощью уровня организованности функционирования системы [4]. Также было установлено, что организованность является функцией упорядоченности или неупорядоченности.

В соответствии с (3), (4) и (5) организованности функционирования в отношении состава (O_{cocm}), структуры (O_{cm}) и свойств (O_{cs}) будут иметь вид:

$$O_{cocm} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K P_{ink} \times \ln((q_{ink} - \varepsilon(X_{ink})) \omega_{ink} + 1)}{\ln \left\{ \prod_{i=1}^I \prod_{n=1}^N \max_k ((Q_{ink} - \varepsilon(X_{ink})) \times \omega_{ink} + 1) \right\}}, \quad (6)$$

где N – параметры вектора состава.

$$O_{cm} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K P_{imk} \times \ln((q_{imk} - \varepsilon(X_{imk})) \omega_{imk} + 1)}{\ln \left\{ \prod_{i=1}^I \prod_{m=1}^M \max_k ((Q_{imk} - \varepsilon(X_{imk})) \times \omega_{imk} + 1) \right\}}, \quad (7)$$

где M – параметры вектора структуры.

$$O_{cs} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{\bar{k}=1}^{\bar{K}} \sum_{k=1}^K P_{ikk} \times \ln((q_{ikk} - \varepsilon(X_{ikk})) \omega_{ikk} + 1)}{\ln \left\{ \prod_{i=1}^I \prod_{\bar{k}=1}^{\bar{K}} \max_k ((Q_{ikk} - \varepsilon(X_{ikk})) \times \omega_{ikk} + 1) \right\}}, \quad (8)$$

где \bar{K} – параметры векторов свойств.

Учитывая (6), (7), (8), вектор R можно определить:

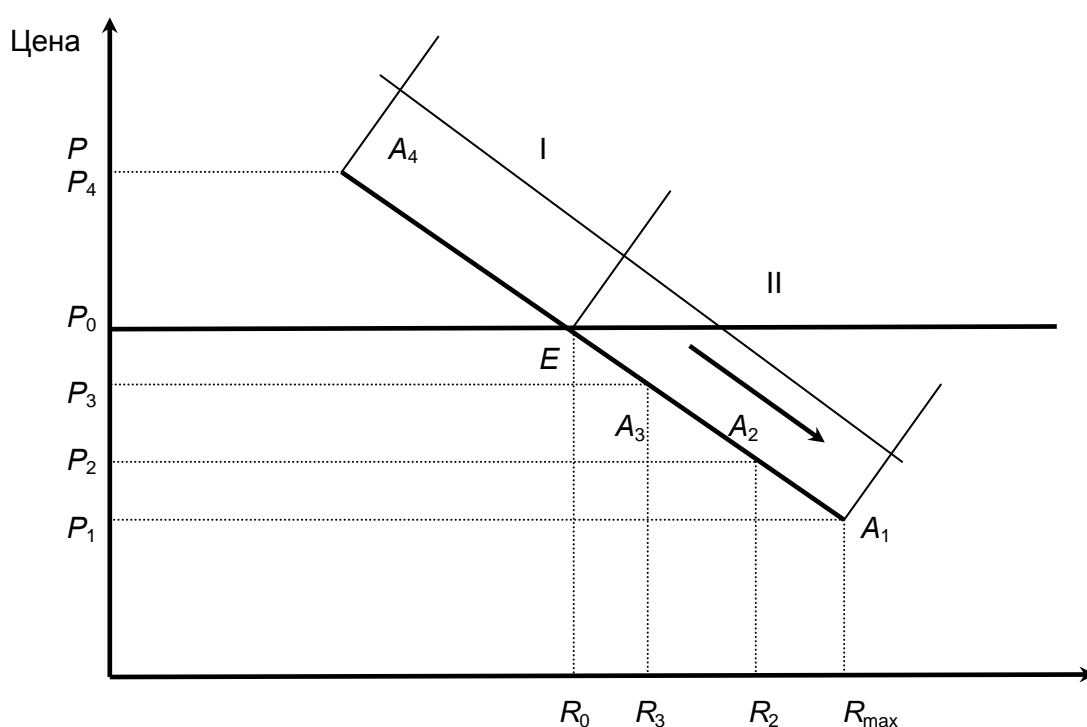
$$\bar{R} = \sqrt{O_{cocm}^2 + O_{cm}^2 + O_{cs}^2}. \quad (9)$$

Для анализа зависимости конкурентоспособности автотранспортных услуг от их адаптационных свойств в координатах (P, R') представляется цена для совершенно конкурентных

предприятий (P_0) и траектория точек, соответствующих ценам прекращения производства ($A_1 A_4$) (см. рисунок).

Кривая конкурентоспособности представляет собой континуум точек прекращения производства транспортных услуг для разных предприятий или для одного и того же предприятия, но в разное время. Расположение этих точек на кривой конкурентоспособности определяется уровнем адапционных свойств соответствующего предприятия [4].

На этой кривой имеются две характерные точки. Это точка A_1 , соответствующая максимальному уровню адаптации предприятия (R'_{\max}). Этой же точке соответствует и минимально возможная цена за транспортные услуги, которую в состоянии выдержать предприятие. Вторая точка (E), которая делит кривую конкурентоспособности на две части, находится на пересечении рыночной цены (P_0) и кривой конкурентоспособности ($A_1 A_4$). Все предприятия, которые находятся на верхней части кривой (I), участвовать на этом рынке не могут, поскольку цена ухода с рынка у них выше, чем сложившаяся цена P_0 .



Кривая конкурентоспособности автотранспортных услуг

Предприятия, находящиеся на нижней части кривой (II), конкурентоспособны и движение их вдоль этой кривой в направлении точки A_1 повышает их конкурентоспособность. Движение вдоль этой кривой возможно за счет повышения адапционных свойств предприятия.

Точке E соответствует точка предельного уровня адаптации R'_0 . Ухудшение адапционных свойств ниже этого уровня выводит предприятие на верхнюю часть кривой конкурентоспособности, а это означает, что предприятие с таким уровнем адаптации на этом рынке существовать не может. И наоборот, повышение уровня адаптации выше этой точки делает предприятие все более конкурентоспособным.

Таким образом, рассмотренный подход к расчету уровней адаптации функционирования автотранспортных предприятий на основе построения векторов состава, структуры и свойства позволяет выявить взаимосвязь показателей качества и конкурентоспособности автотранспортных услуг в условиях экономического ландшафта рынка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А., Кенгерлинский Г.А. Информация в энергетике // Информация и кибернетика / Под ред. А.И. Берга. М.: Сов. радио, 1967. С.23-25.
2. Вильсон А. Энтропийные методы моделирования сложных систем: Пер. с англ. М.: Наука, 1978. 247 с.
3. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин; Под ред. О.П. Глудкина. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.
4. Клочков В.Н. Адаптация и конкурентоспособность автотранспортных систем в рыночных условиях. СПб.: СПбГИЭА, 1999. 215 с.
5. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э., Касенов А.Г. Логистика: обслуживание потребителей. М.: ИНФРА-М, 2002. 190 с.
6. Фишер С., Доржбуш Р., Шамалензи Р. Экономика. М.: Экономика, 1993. 829 с.

Гусев Сергей Александрович –

кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»
Саратовского государственного технического университета

Красникова Дарья Андреевна –

ассистент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»
Саратовского государственного технического университета

Добрыднев Артем Евгеньевич –

соискатель кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»
Саратовского государственного технического университета

УДК 338.001.76

А.В. Пахомова, Л.А. Отставнова

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ

Дается анализ состояния и движения основных производственных фондов в целом по экономике и на примере конкретной отрасли – транспорта; рассматриваются типы инноваций и обосновывается необходимость их применения на предприятиях при организации, анализе и реструктуризации. Предлагается внедрение на предприятиях клиринга рабочих мест как инновационного подхода к повышению эффективности их использования.

A.V. Pakhomova, L.A. Otstavnova

THE INNOVATIVE WAY TO THE WORKPLACES' USE EFFICIENCY

This work is the analysis of a condition and movement of the basic production assets as a whole on economy and on an example of concrete branch –

transport. The types of innovations are considered and the necessity of their application at the enterprises is proved at organization, analysis and restructuring. The introduction at the enterprises clearing of workplaces as innovative approach to the increase of efficiency of their use is offered here.

Процессы, происходящие в экономике страны с переходом к рынку, влекут за собой большие изменения в характере и механизмах занятости во всех отраслях экономики, в том числе в промышленности, строительстве, на транспорте. Разрушена прежняя, основанная на централизованном планировании, система определения потребности в рабочих местах для предприятий индустриальной сферы, в то время как новые взаимосвязи между спросом и предложением рабочих мест находятся в стадии формирования.

В современной экономической ситуации настоятельной необходимостью становится вывод из хозяйственного оборота устаревшего не только физически, но и морально производственного и технологического оборудования на основе программ санаций, реорганизаций, перепрофилирования устаревших производств. Это требует стимулирования системных инновационных процессов, создания на основе новшеств таких рабочих мест, которые обеспечивают производство конкурентоспособной продукции (услуг).



Рис. 1. Ядро саморазвития

Внедрение в экономику предприятия базисных нововведений происходит в так называемом ядре саморазвития производственно-хозяйственной системы, образуемого из вещественной структуры и технологических параметров рабочего места и четырех подсистем: условий труда, экономической, организационной, технической (рис. 1). На ядро саморазвития активно влияет научно-технический прогресс.

Готовность и способность той или иной организации осуществить впервые или воспроизвести (воспринять) нововведение характеризует ее инновационный потенциал, который в любом государстве относят к категории национального достояния.

Формирование новых производств, основанных на отвечающих требованиям научно-технического прогресса рабочих местах, способствует развитию инновационного бизнеса. Однако реализация этого направления развития экономики предполагает активную инвестиционную деятельность.

Современное же состояние инвестиционной сферы таково, что не позволяет не только создавать новые рабочие места, но и использовать созданный годами производственный потенциал.

Так, загрузка производственных мощностей в настоящее время составляет, по оценкам экспертов, в среднем по промышленности 45-50%. Сокращение объемов производства продукции и услуг не сопровождается соответствующим выводом из эксплуатации устаревших и неэффективных основных фондов, которые остаются на балансе предприятия.

На рис. 2 ярко прослеживается тенденция уменьшения ввода в действие основных фондов по всем отраслям экономики РФ с 1992 г. (3,2%) до 1998 г. (1,1%), затем коэффициент их обновления начинает постепенно расти до 1,7% в 2001 г.

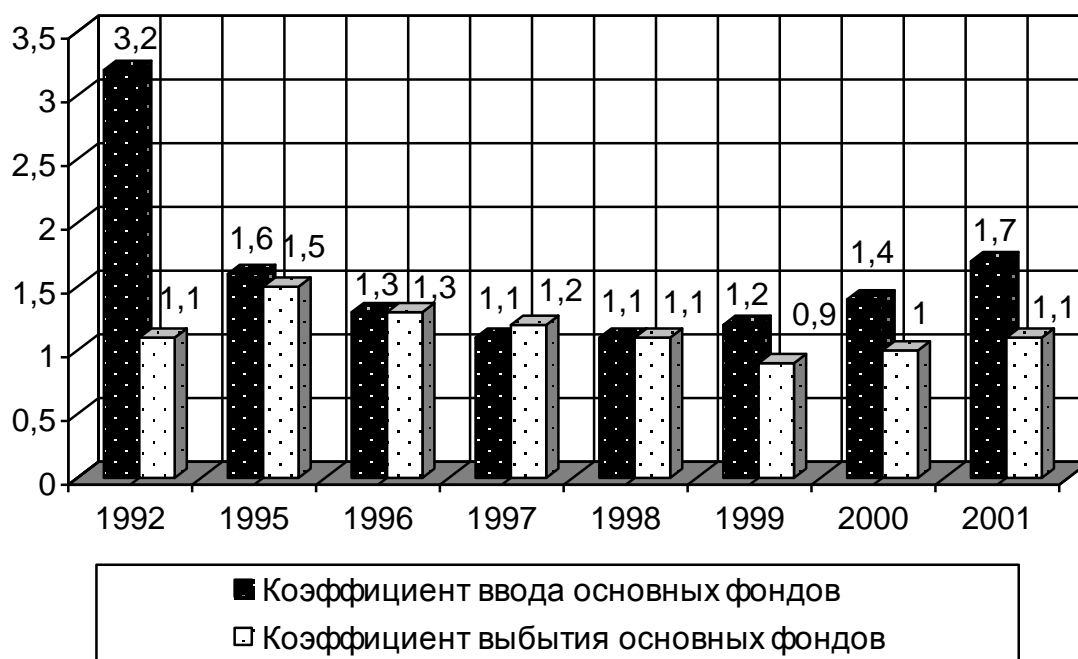


Рис. 2. Ввод и выбытие основных фондов в целом по экономике РФ (в % к наличию основных фондов на конец года) [1]

Коэффициент выбытия основных фондов с 1992 по 2001 гг. остается примерно на одном уровне и его среднее значение равно 1,2%.

Нарастающие тенденции старения основных фондов наиболее наглядно представлены на примере конкретной отрасли экономики – транспорта, который выполняет логистическую функцию доставки товара до конечного потребителя (рис. 3).

Как видно из рис. 3, за анализируемый период коэффициент обновления основных фондов на транспорте снизился в 5,67 раза, а коэффициент выбытия – в 2,17 раза.

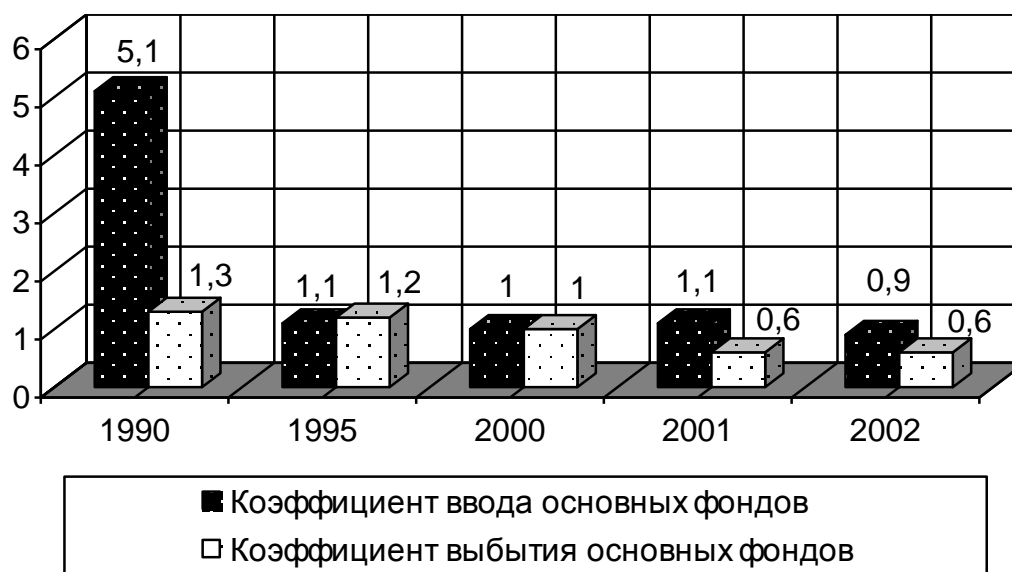


Рис. 3. Ввод и выбытие основных фондов организаций транспорта (в % к наличию основных фондов на конец года) [2]

Степень износа основных фондов организаций транспорта варьирует от 20,2% (метрополитены) до 59,8% (железнодорожный транспорт), причем наиболее высокие темпы износа на магистральном виде транспорта – железнодорожном (табл. 1).

Таблица 1

Степень износа основных фондов по крупным и средним организациям транспорта (на начало года, в %) [2]

Виды транспорта	1995 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Транспорт – всего	38,5	47,1	50,7	53,2	57,0
в том числе:					
– железнодорожный	38,3	50,0	54,1	56,9	59,8
– автомобильный	46,1	54,5	54,0	50,6	48,7
– трамвайный	40,4	59,1	58,8	57,4	57,9
– троллейбусный	39,0	51,0	48,6	45,9	42,0
– морской	48,5	52,6	49,6	48,7	45,3
– внутренний водный	42,4	51,8	56,3	58,1	59,2
– воздушный	58,1	65,0	58,4	53,5	55,9

Старение основных фондов происходит на всех видах транспорта, причем наибольшими темпами на железнодорожном, внутреннем водном, трамвайном. Ввод в действие основных производственных мощностей транспорта за счет нового строительства, расширения и реконструкции сократился за период с 1990 по 2002 гг.: трамвайных путей в 8,45 раза, троллейбусных линий (одиночных) в 4,97 раза, взлетно-посадочных полос с твердым покрытием в 2,11 раза, автомобильных дорог с твердым покрытием общего пользования в 3,2 раза.

Степень износа основных фондов организаций в целом по экономике (табл. 2) с каждым годом все увеличивалась и в 2002 г. составила 47,9%, причем наибольшая степень износа наблюдалась в промышленности (52,9%) и сельском хозяйстве (50,4%). В торговле и общественном питании основные фонды с 1999 г. начинают обновляться, степень их износа снижается с 41,4 до 28,9%. Это объясняется перераспределением в эту отрасль таких основных факторов производства, как труд и капитал, что связано с общей реструктуризацией экономики в результате рыночных преобразований.

Таблица 2

Степень износа основных фондов организаций по отраслям экономики
(на начало года, в %) [2]

Отрасли	1995 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Все основные фонды	38,6	41,9	42,4	45,8	47,9
Из них:					
– промышленность	46,2	52,9	52,4	51,5	52,9
– сельское хозяйство	37,6	48,8	50,4	50,8	50,4
– строительство	37,0	40,7	44,6	44,7	43,9
– торговля и общепит	33,6	41,4	38,1	32,2	28,9

Сокращение ввода основных фондов не могло не сказаться на подготовке рабочих кадров по различным профессиям, в том числе и на транспорте. Так, в учебных заведениях начального профессионального образования обучалось на транспорте в целом – 182,6 тыс. чел. в 1990 г., 90,6 тыс. чел. в 2002 г.; на железнодорожном транспорте – 26,1 тыс. чел. в 1990 г., 13,1 тыс. чел. в 2002 г.

Среднегодовая (среднесписочная) численность работников организаций сократилась в целом на транспорте с 4908,2 тыс. чел. в 1990 г. до 3377,5 тыс. чел. в 2002 г., на автомобильном транспорте с 2346,8 тыс. чел. до 1091,1 тыс. чел.

Таким образом, сложившаяся ситуация характеризуется существенными количественными изменениями в рабочей силе на транспорте, а также массе применяемых средств производства. Все это обостряет социально-экономические проблемы и требует рассмотрения теоретических и практических аспектов проблемы совершенствования системы рабочих мест, достижения и поддержания сбалансированности рабочих мест и трудовых ресурсов. Такое соответствие между рабочими местами и занятыми на них работниками должно строго соблюдаться на всех уровнях, начиная от единичного рабочего места и конкретного работника на участке, в цехе, на предприятии и кончая совокупностью рабочих мест и совокупной рабочей силой в масштабах отрасли, региона, народного хозяйства в целом. Диспропорции в этом соотношении неизбежно ведут к потерям, связанным с недоиспользованием либо людских ресурсов, либо основных производственных фондов, либо тех и других, вместе взятых.

Изучение опыта предприятий, в том числе и транспортных, позволило выявить ряд направлений работы по устранению сложившегося несоответствия между количеством рабочих мест и трудовыми ресурсами. К числу наиболее важных из них относятся:

- совершенствование методологии делового планирования инвестиций в проекты реструктуризации рабочих мест;
- ускоренное обновление производственного аппарата за счет быстрой замены малоэффективного оборудования и ликвидации излишних и малоэффективных рабочих мест;
- вытеснение живого труда овеществленным;
- формирование единой системы планирования, учета, аттестации и рационализации рабочих мест.

Перечисленные направления должны базироваться на инновационном подходе, основой которого в период формирования рыночных отношений является множественность источников финансирования и его программно-целевая ориентация.

Инновация же представляет собой результат творческой деятельности, направленный на разработку, создание и распространение новых видов конкурентоспособной на мировом рынке продукции, современных технологий, внедрение новых, адекватных рыночным условиям хозяйствования организационных форм и методов управления, новых экономических структур и т.д.

Инновационный процесс – это совокупность трех основных стадий:

1. Исследования и первое производственное освоение.
2. Развертывание выпуска в масштабах, достаточных для удовлетворения конкретных потребностей потребителей.
3. Производство новшества и его использование конечными потребителями.

Можно выделить три основных типа инноваций: продуктивные, технико-технологические и организационно-управленческие.

Самым распространенным типом являются *продуктивные* инновации, характер которых существенно отличается для каждого предприятия. Для одних – это полная смена ассортимента или существенное расширение номенклатуры, выходящее за пределы традиционного профиля, для других – повышение потребительских качеств продукции традиционного профиля с учетом запросов потребителя. На некоторых предприятиях выпуск новой продукции осуществляется без изменения технологии и на существующих рабочих местах без какой-либо модернизации, иногда освоение новой продукции сопровождается внедрением новой технологии и реорганизацией существующей системы рабочих мест, заменой соответствующего оборудования.

Именно производство новой продукции, способной удовлетворить запросы рынка, является ведущим мотивом *технологических* нововведений с целью повышения конкурентоспособности предприятия за счет улучшения качества продукции, снижения ее себестоимости, расширения номенклатуры и ассортимента выпускаемых изделий.

Технические инновации, то есть модернизация и реорганизация рабочих мест при помощи введения в эксплуатацию нового оборудования, обусловлены как переходом к выпуску новой продукции, так и обновлением физически и морально устаревших основных производственных фондов (физических рабочих мест).

Под физическим рабочим местом мы понимаем зону, оснащенную необходимыми техническими средствами, предназначенными для осуществления трудовой деятельности одного или нескольких исполнителей.

Под экономическим рабочим местом – совокупность материально-вещественных, экономических и социальных условий обеспечения занятости для одного работника.

Замена основных производственных фондов, как одна из важнейших предпосылок ускоренного обновления производственного аппарата, должна осуществляться в соответствии с нормативными сроками службы. В то же время надо учитывать, что в сложившейся экономической ситуации проведение таких мероприятий мало вероятно для реализации в силу отсутствия необходимого объема инвестиций. Кроме того, необходимо учесть следующие обстоятельства. С одной стороны, обилие незанятых рабочих мест – это тот самый факт, который объективно свидетельствует о реальном существовании данной проблемы, требующей незамедлительного решения. С другой стороны, при отсутствии дополнительных источников трудовых ресурсов проблему дефицита рабочей силы следует перевести в плоскость рационального использования производства и трудового потенциала. А это уже качественный аспект проблемы соответствия рабочих мест и трудовых ресурсов.

В последние годы на фоне сокращения объемов производства наблюдаются незанятые рабочие места, находящиеся в функциональном состоянии. Часть из них не востребована в

данном производстве, на предприятии, но, в то же время, они могли бы послужить базой для производства продукции для других предприятий, входящих в ВПК, ТПК, АПК, комплексные отрасли.

В большинстве случаев технико-технологические инновации не приводят к уменьшению численности работников предприятий. Это можно объяснить тем, что на предприятиях к началу инновационной деятельности сокращать некого в связи с тем, что уже сформировались коллективы с минимальной численностью из-за снижения объемов производства и высокой текучести кадров. Кроме того, нередко новое оборудование устанавливается параллельно со старым, что ведет даже к росту количества рабочих мест и числа рабочей силы.

Нередко освоение новой продукции сопровождается *организационно-управленческими* инновациями, целью которых является повышение эффективности и совершенствование методов управления производством и персоналом. Они характеризуются организацией новых отделов, подразделений и служб на всех уровнях руководства предприятием. В качестве управленческих инноваций можно также рассматривать инновации в социально-трудовой сфере: применение новых форм отбора персонала, новых форм найма и контрактов, новых методов оценки работы персонала, новых схем оплаты труда, создание новых структурных подразделений и т.п.

Примером организационно-управленческих инноваций может служить *клиринг рабочих мест*.

Клиринг (от англ. clear – очищать, вносить ясность) – система безналичных расчетов за товары, ценные бумаги и оказанные услуги, основанная на учете взаимных финансовых требований и обязательств; одна из форм встречной торговли.

В настоящее время почти каждое предприятие имеет вакантные рабочие места, о которых оно сообщает посредникам на рынке труда в заполнении рабочих мест для работодателя и поиске работы для рабочей силы (служба занятости, фирмы по трудоустройству). Для того, чтобы заполнить имеющуюся вакансию, необходимо время, так как далеко не всегда на рынке рабочей силы имеется требуемый работник. Поэтому, пока подыскивается кандидатура для работодателя, рабочее место простаивает, что в условиях рынка крайне нежелательно.

В сложившейся ситуации мы предлагаем использовать инновационный подход к заполняемости вакантных рабочих мест, который мы назвали «*клиринг рабочих мест*».

В данном случае «*клиринг*» – форма встречной заполняемости вакантных рабочих мест.

Применительно к рабочим местам можно рассматривать *клиринг* как систему расчетов между предприятиями, реализуемую на основе соглашений между ними о взаимном зачете встречных требований и обязательств, вытекающих из стоимостного равенства оказываемых услуг (выполняемых работ). В соглашениях по поводу *клиринга рабочих мест*, регламентирующих порядок взаимного предоставления рабочих мест, должны указываться их цены, дата предоставления услуг, подробная характеристика рабочего места. По истечении срока клирингового соглашения по рабочим местам может образоваться взаимная задолженность сторон. В этом случае она компенсируется, например, заранее согласованной суммой сальдо или штрафа на основании наличия в соглашении таких обязательных элементов, как объем клиринга, система выравнивания взаимных обязательств и др.

Для реализации клиринговых соглашений между предприятиями необходимы организационные решения:

- правовые акты, регулирующие отношения по поводу клиринга;
- положения о клиринге рабочих мест;
- порядок ведения переговоров о предоставлении рабочих мест;
- погашение взаимных обязательств;
- требования к безопасности технологических процессов и т.д.

Под *клирингом рабочих мест* мы понимаем процесс заполнения вакантных рабочих мест и трудоустройства высвобождающихся работников самими предприятиями с помощью банка данных (рис. 4).

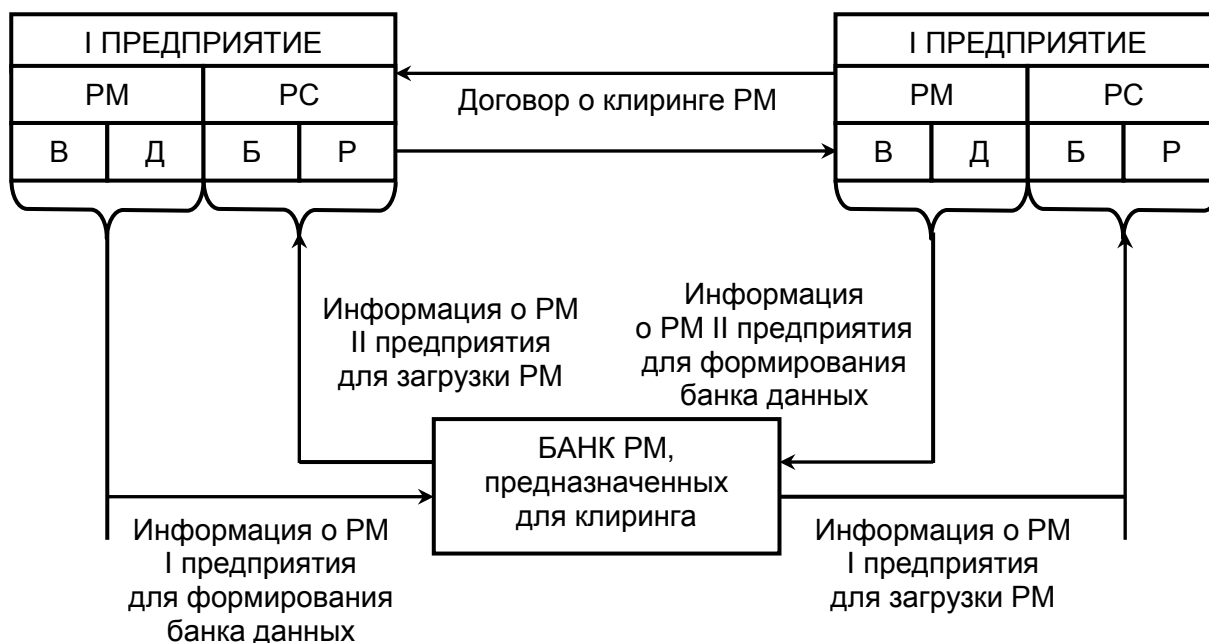


Рис. 4. Клиринг рабочих мест: РМ – рабочие места, В – вакантные, Д – действующие, РС – рабочая сила, Б – безработные, Р – работающие

Банк данных должен содержать информацию о состоянии вакантных рабочих мест со всеми характеристиками рабочего места (профессиограмма) и перечень требований к будущему работнику. Организовать банк данных для клиринга вакантных рабочих мест можно на базе федеральной государственной службы занятости населения или в созданной вновь организационной структуре. Доступ к этому банку данных должен быть свободным для предприятий всех форм собственности и видов деятельности.

Каждое предприятие, которое в ближайшем будущем собирается сокращать по каким-либо причинам некоторое количество работников, должно будет внимательно изучить банк существующих вакантных рабочих мест и найти в нем такие вакантные рабочие места, которые подходят высвобождаемым работникам и соответствуют их требованиям. На договорной основе в порядке перевода предприятия сами смогут перемещать высвобождающуюся рабочую силу, минуя рынок труда.

Клиринг рабочих мест сократит время простоя оборудования на предприятии, уменьшит время заполняемости вакантных рабочих мест, снизит напряженность на региональном рынке труда. Применение клиринга позволит не тратить время и денежные средства на обучение или переобучение рабочей силы и ввод рабочих мест в эксплуатацию, так как рабочие места высвобождающимся работникам будут предоставлены с учетом их знаний, опыта, навыков и умений.

Значение клиринга рабочих мест для предприятий зависит от степени использования имеющихся производственных мощностей, их состояния, спроса на продукцию и услуги взаимодействующих по поводу клиринга предприятий. Применение клиринга рабочих мест может сочетаться с арендой помещений, оборудования, транспорта. Однако, с нашей точки зрения, клиринг рабочих мест является инновационным способом повышения эффективности именно экономических рабочих мест, так как позволяет максимально использовать пре-

имущества, которыми отличаются производственные ресурсы специализированного предприятия, и тем самым компенсировать дополнительные затраты на содержание рабочих мест, их модернизацию, получая продукцию, ценную для участников клирингового соглашения и необходимую для удовлетворения потребностей рынка.

Использование производственных мощностей и рабочих мест на основе клиринга как результат дифференциации условий и особенностей функционирования предприятий может стать инновационным подходом, новым явлением на отечественных предприятиях.

Клиринг рабочих мест является одним из инновационных подходов к решению задачи усиления социальной направленности промышленности на региональном уровне, которое достигается триединым путем:

1. Развитие легкой и пищевой промышленности.
2. Расширение выпуска предметов потребления для населения в отраслях тяжелой индустрии.
3. Конверсия военного производства и переориентация ряда оборонных предприятий на выпуск продукции гражданского назначения.

Таким образом, реализация этих направлений позволит использовать производственные мощности, высвобождающиеся в процессе реструктуризации, конверсии предприятий, позволит ориентировать их на выпуск потребительских товаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Россия в цифрах, 2002: Краткий статистический сборник / Госкомстат России. М., 2002. 398 с.
2. Транспорт в России: Статистический сборник / Госкомстат России. М., 2003. 182 с.
3. Российский статистический ежегодник / Госкомстат России. М., 2002. 690 с.

Пахомова Алла Викторовна –

кандидат экономических наук,
профессор кафедры «Экономика и управление на автотранспорте»
Саратовского государственного технического университета

Отставнова Лилия Алексеевна –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и учения»
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.3

А.А. Понукалин

ЧЕЛОВЕКОВЕДЕНИЕ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрены направления исследования научной проблемы человека, которые могут быть перспективными с точки зрения углубления знания о природе человека на разных уровнях его строения. Наиболее перспективно использование психологии как базы в синтезе физико-математического знания и знания, накопленного в религиозных учениях. Как результат такого синтеза становится возможной разработка основ теоретической психологии, интегрирующей различные знания о природе человека.

A.A. Ponukalin

HUMANSKNOW: THE PROSPECTIVE DIRECTIONS STUDIES

The article describes the directions of researches of scientific problems of a human being which may be prospective from the point of broadening view of the knowledge about a human nature at different levels of his structure. The most prospective is to use the psychology as a base for the synthesis physic-mathematical knowledge and the knowledge accumulated through religious studies. As a result of such a synthesis is the probability of the fundamental bases of the theoretical psychology integrating with the different knowledge about the human nature.

Человек в своём цивилизационном развитии становится социальным существом, личностью только в социальном взаимодействии, когда общество создаёт условия для социализации: воспитания, обучения, просвещения, образования, профессионализации, достижения мастерства, самореализации в трудовой и общественной деятельности. Становление личности в онтогенезе происходит через посредство развития механизмов социального взаимодействия в социальном управлении, когда индивид овладевает речью, что способствует развитию высших психических функций, и в первую очередь, мышления, сознания, воли.

Однако, все люди действуют согласно общим внутриспсихическим механизмам и, следовательно, существуют психологические константы, инварианты, типовые тенденции и, конечно, на этой базе образуются индивидуально-личностные варианты с определёнными диапазонами величин каких-либо свойств. Все они являются предметом изучения теоретической психологии. Межиндивидуальная тождественность внутриспсихических механизмов (по крайней мере, в норме) свидетельствует о наличии некоего эталона психического, на основе которого строится душа каждого отдельного человека и этот эталон представляет для теоретической психологии наибольший интерес, что связано со следующими обстоятельствами.

Психика как объект научного познания принципиально отличается от всех других объектов тем, что она не только объективна в определённой степени, но и в не меньшей степени субъективна, в силу чего познание психики как бы выходит за границы естественных наук. Дело в том, что любая наука строит свою теорию как систему объективных законов и в этом плане психологическая теория представляется научной лишь в отношении инвариантных законов, характеризующих устойчивые проявления психики. Отсюда следует, что психика во всей полноте её свойств не может быть объектом научного познания, поскольку в противном случае необходимо изменить принципы эпистемологии, что влечёт за собой и переосмысление основ научного мировоззрения.

Развитие психологии (т.е. науки о психике) достигло уровня, когда актуальной становится научная задача построения теории психического, решение которой оказывается проблематичным в силу двойственного характера психики с её противоречивыми свойствами – объективности и субъективности. Перед теоретической психологией возникают проблемы, связанные в первую очередь с этим обстоятельством. На первый план выходит фундаментальная гностическая проблема – природы взаимодействия объективной и субъективной реальностей. Она, в свою очередь, порождает множество других проблем: субстанциональности субъективной реальности, материального субстрата сознания, природы сознания как формы бытия субъекта.

На современном уровне научного познания объективной реальности множество таких проблем можно рассматривать как систему проблем психофизических, психобиологических, психосоциальных (в аспектах проявлений психики в физическом, биологическом и социальном мирах), а также одновременно и проблем физико-психических, биопсихиче-

ских, социопсихических (в аспектах проявлений физического, биологического и социального миров в психике). Возможные подходы к их решению обсуждаются в настоящей работе и они основываются на методологических принципах, в которых не противопоставляется объективное и субъективное, но предполагается их существование как реальностей единого целого – природы¹.

Рассмотрим процесс возникновения ощущения как простейшей формы субъективной реальности, отражающей объективную реальность в её элементарных свойствах и проявлениях. Ощущения возникают в результате импульсации коры головного мозга электрическими сигналами, возникающими вследствие раздражения рецепторов органов чувств. Импульсация по своей объективной природе одинакова и не зависит от модальности органа чувств – нейронные импульсы одинаковы при возбуждении проводящих нейронных сетей любого из них. В субъективной же реальности все такие возбуждения становятся модальными (принципиально различающимися) ощущениями. Другим словами – одинаковые объективные процессы порождают разные (по значимости для человека) субъективные процессы, поскольку в результате преобразования энергии внешней среды в организменное вещество ЦНС действует одним и тем же способом по отношению ко всем органам чувств, независимо от модальности. В коре головного мозга возникают одинаковые по своей объективной природе очаги возбуждения, а в субъективной реальности образуются ощущения, различающиеся по модальностям, которые человек в норме обычно не перепутывает.

В основе субъективных различий (модальностей) объективных процессов лежат лишь различия в корковой локализации возбуждений. Других оснований, кроме пространственных, для различения ощущений на уровне материальных процессов нет. Следовательно, спецификация ощущений определяется не только специализацией рецепторов, но и топологией коры головного мозга, поскольку нейронные процессы по своей биофизической природе в её проекционных зонах одинаковы. Возникает вопрос, почему же такие одинаковые процессы вызывают разные по модальности ощущения? Вполне возможно, что каждая зона сопряжена с какой-то специфической областью в некоем субстрате – носителе субъективной реальности, имеющей от природы статусы модальностей.

Значит, модальность (субъективное качество) есть функция пространства, занимаемого головным мозгом, поскольку очаги возбуждения разнесены в этом пространстве. Важно ещё и то, что соотношение между физической определённой раздражителем и соответствующим качеством субъективной реальности (модальностью) носит лишь ассоциативный характер. Дело в том, что в объективной действительности не существуют свет и цвет, звуки, тепло и холод, вкус, запах, а также и множество эмоциональных переживаний, полярных по своей субъективной природе, а потому имеющих ценностный характер. Например, чувству удовольствия-неудовольствия соответствует множество самых различных в объективном плане событий. Чувство же боли возникает при раздражении сверхсильными раздражителями всех органов чувств и оно по своей субъективной ценности не различает своих источников – будь то болевые рецепторы серозных оболочек внутренних органов, свободные нервные окончания в коже или сверхсильные модальные раздражители. В мозге возникают определённые процессы, одинаковые по отношению к любым приёмникам сигналов, несущих информацию об объективной реальности.

В опытах Пенфилда по раздражению слабым электрическим током сенсорных зон коры головного мозга обнаружено, что возникают лишь элементарные ощущения: в зрительной зоне – вспышки света, темноты и различных цветов (образы предметов не возникают); в слуховой зоне – высокие и низкие, тихие и громкие звуки (звуки речи никогда не возникают); в соматосенсорной зоне – прикосновения, покалывания, онемения, иногда слабовыраженные

¹ Понукалин А.А. О методологии познания // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С.157-166.

ощущения тепла или боли (сильных болей не бывает); в обонятельной и вкусовой зонах – большей частью неприятные запахи и вкусовые ощущения.

Различие между «чистыми» ощущениями и «чистыми» чувствами – это различие между отражением раздражителя в его объективных качественно-количественных свойствах и отражением раздражителя в его субъективном (ценностном) значении. Конечно, любой раздражитель (в сфере экстероцептивной, как минимум, чувствительности) вызывает ощущение, которое уже имеет определённую ценность для субъекта в силу даже того, что оно возникает, но речь идёт о преимуществе объективного, когда имеем в виду «чистое» ощущение, или субъективного, когда говорим о «чистом» чувстве, в целостном субъективном переживании. Объективность переживания связывается с эпикритической чувствительностью, субъективность – с протопатической, экспериментально отделяемых друг от друга.

Таким образом, ощущения – это субъективная форма (переживание) и субъективная (модальная) интерпретация объективных свойств внешнего и внутреннего миров. Чувства – субъективная форма (переживание) и субъективная интерпретация эго-центрированного отношения к внешнему и внутреннему мирам. Если в наиболее древних (филогенетически) чувствах отражалась только значимость (биологическая), то в поздних ведущим становится объективированное качество раздражителя, выносимое вовне и приписываемое ему, количественно достаточно точно определяемое. К значимости (в первом случае) добавляется и субъективное отношение к этой значимости (во втором случае), т.е. субъективная оценка. Ощущения зарождаются в сенсорном (психическом) пространстве (поскольку кора мозга – филогенетически более позднее образование), а чувства зарождаются в оценочном (психическом) пространстве (вначале в «эмоциональном» – более раннем образовании, связанном со стволовыми образованиями (лимбическая структура). В развитии оценочного пространства образуются новые дифференцированные классы чувств: эмоциональные, эстетические, интеллектуальные, моральные.

Субъективные качества (ощущения, например) как аналоги (модели) объективных свойств окружающего мира возникают только лишь в субъективной реальности и есть чистая субъективная реальность, возможно, не зависящая от объективной реальности при некоторых условиях (человек может произвольно вызвать ощущения, когда отсутствуют физические раздражители, воздействующие на органы чувств, и это процесс внутриспсихический, не требующий участия энергии, вещества, информации, а только долговременной памяти, представления и воображения в состоянии сознания).

В связи с такой особенностью формирования корковых моделей ощущений в философии субъективного идеализма разрабатывались положения теории «специфической энергии» органов чувств, которая возбуждается различными воздействиями. При раздражении рецепторов возникают «толчки», активизирующие внутренние процессы и, следовательно, человек воспринимает не внешний мир, а свои собственные состояния. В рамках этой философии такое обстоятельство рассматривается как аргумент в пользу того, что человек может познать только самого себя и у него нет никаких доказательств, что кроме него существует что-нибудь ещё. Поэтому ощущения чисто субъективны и не являются источниками познания объективной реальности.

В ощущениях человеку и представлены в действительности собственные состояния, но они осознаны (означены), связаны с внешней средой, отражённой в психике как пространство, заполненное предметами, существующими во времени. Доказательством служат чувственные переживания, например, переживание удовольствия, которое человек прогнозирует как будущий результат взаимодействия с определёнными предметами среды и переживает, осуществив взаимодействие практически.

Таким образом, «специфическая энергия» органов чувств, высвобождаемая «толчками» (независимо от их внутренней природы), в субъективной реальности устойчиво ассоциируется с объективными качествами внешних воздействий, которые строго соответствуют (с

точки зрения практической реализации замыслов) специализации рецепторов в пределах измерительных параметров органов чувств. Сами «толчки» отличаются друг от друга по объективной природе раздражителей и по своему значению для человека, использующего их в собственном развитии и адаптации к окружающему миру, как он представлен в его сознании.

Если человек в ощущениях отражает лишь собственные состояния, то для чего (имея в виду принцип рациональности) тогда нужна высокая степень специализации рецепторов? В чём тогда значение зависимости качества и количества субъективной реакции от параметров внешнего воздействия? Для отражения собственного состояния в ответ на «толчок» достаточно и одного органа чувств. Значение «толчков» в их связи с объективными характеристиками раздражителей осваивается человеком и их субъективный образ выносится вовне, локализуется – совмещается с источником раздражения посредством специализированных механизмов.

Явление вынесения субъективного образа вовне не может объясняться только процессами формирования ощущения, поскольку «специфичность энергии» органов чувств связана не только с их модальностью и местоположением проекции в коре головного мозга, но и со специфичностью исполнительных механизмов, т.е. с возможностями преобразования раздражителя в моторное действие. Вынесенность возникает в деятельности освоения человеком предметного мира, когда ощущения взаимодействуют с моторными актами как двигательными реакциями на раздражение. Ещё И.М. Сеченов определял роль «щупала» в освоении человеком окружающего мира и в формировании субъективного образа. Эффект «щупала» свидетельствует о том, что психическое отражение связано с процессами взаимодействия сенсорных и моторных компонентов целостной реактивной системы, когда орган отражения непосредственно одновременно воздействует на отражаемый объект (отражение и действие конструктивно объединены), когда информация отражения интегрируется с информацией действия. При этом субъективный образ (ощущение) строится не только на языке модальности, но и на языке действия, которое по своим динамическим характеристикам уподобляет таковое же раздражителя.

Универсальным языком внутренних процессов на уровне сознания служит вербальный код. Его основу составляет язык в своей речевой форме и в этом качестве он представляется на уровне информатроники психики. Концепция информатроники психики связывается с функциями языка – регулятивными, когнитивными, коммуникативными, выступающими в единстве, поскольку обеспечивают жизнедеятельность психики, её интеллектуальные, нравственные и духовные качества. Посредством языка (законов его функционирования) в психике осуществляется движение многомерных (по своим действиям) потоков («троника»), несущих информацию («информа»), которые производят и сохраняют знание; управляют психическими процессами посредством сигналов, команд, программ, планов; передают информацию во вне как знание, управление, стимулы.

Понять сущность эффекта трансформации физической природы специфических раздражителей, действующих в коре головного мозга одинаковым способом, в субъективную модальную природу (ощущения) можно, лишь ответив на вопрос о том, что такое модальные ощущения – света, цвета, звука, тепла, холода, запаха, вкуса. В объективной реальности как таковых их нет, но есть только ЭМ-волны, движения молекул вещества, т.е. чисто физические явления. Эти физические явления (объективная реальность) посредством (биологически) специализированных органов чувств (т.е. обладающих наибольшей чувствительностью к таким явлениям) приводятся в соответствие с ощущениями (субъективной реальностью) и становятся значимыми по своим объективным качествам. Такие качества могут быть получены, к тому же, и разными способами. Следовательно, субъективная реальность на уровне ощущений, не говоря уже о чувствах, существует в некотором специфическом субстрате, а он, скорее всего, представляет собой субстанцию памяти, поскольку ощущения не перепутываются и идентифицируются субъектом адекватно воздействию и

достаточно надёжно, поскольку в норме субъект адекватен объективному миру и потому обладает адаптивной способностью.

С точки зрения объективного описания процесса формирования ощущения мы имеем дело с последовательностью событий: физическая энергия преобразуется в вещество (сигналы в ЦНС), а последнее преобразуется затем на уровне синтезатора в информацию. Можно ли разделить энергию, вещество, информацию в целостном субстрате «природа – человек»? Нет, скорее всего. Значит, этот целостный субстрат характеризуется законом сохранения энергии, вещества, информации. А это значит, что в ЦНС (её корковых отделах) энергия среды преобразуется в информацию и приобретает эту форму своего существования, сохраняясь с тем, чтобы иметь возможность и обратного преобразования.

Возникает проблема соотношения физического, биологического и психического на уровне информационных процессов. Однако, это ещё не уровень субъективной реальности, где информация преобразуется в понятие и становится знанием. Такое преобразование происходит лишь в сознании, которое формируется в свою очередь только в социальной среде. Стало быть, добавляется проблема соотношения психического и социального, а закон сохранения энергии, вещества, информации отражается каким-то образом и в сознании, поскольку сохранение таких субстанций объективной природы возможно лишь в определённой области её явлений. Сознание, производное от социальной среды, скорее всего, связано с объективной реальностью через посредство субстанции информации, которая существует абсолютно, но по своему содержанию всегда относительна. Что особенного в феномене сознания как способе существования субъективной реальности?

Проблема сознания как явления природы разработана в той или иной степени и биологией, и психологией, и философией, и даже физикой. В психологии сознание представлено как высший уровень развития психики в процессе социализации человека, становления его как личности. Оно также и инстанционально, имеет свою структуру и свойства. Основанием сознания как инстанции служит «чувственная ткань» (в теории А.Н. Леонтьева)¹, «единая чувственная сфера», на которую работают все органы чувств (в теории Б.Ф. Ломова), «сенсорное пространство» (в теории Ю.М. Забродина). Это и тот уровень психического отражения, на котором возникает первичное «впечатление» младенца (в теории С.Л. Рубинштейна), как онтогенетически начальная, наиболее интегративная, форма субъективной реальности. С точки зрения рассматриваемого нами подхода к познанию природы субъективной реальности её основанием служит то, чему отвечают все приведенные выше концепты, характеризующее это основание с различных сторон. В плане построения теоретической модели такого основания наиболее продуктивна концепция сенсорного пространства, в рамках которой категория «психическое отражение» наполняется предметным содержанием измерительного процесса, инстанционального по своей природе.

Возможно, что механизмом связи между субъектом и сенсорной осью (в одномерном случае) является механизм отношений между языками разных уровней: субъективный использует язык высокого уровня, а сенсорные инстанции пользуются «машинными» языками (по аналогии с языками машинного программирования). Следовательно, формирование субъекта – это формирование языков высокого уровня в инстанции «сознание» (самый высокий – уровень речи, владение словом, которое «переводится», например, при саморегуляции в «машинный» язык). Онтогенез тогда – это освоение языков высоких уровней, развитие механизмов «перевода» языка высокого уровня в языки низших уровней.

¹ В своей теории строения сознания А.Н. Леонтьев рассматривал ещё два существенных компонента – значение и смысл, которые формируются в процессе развития психики, когда человек, как существо биологическое, становится существом социальным, адекватным окружающему миру и адаптивным в нём, а потому разумным и целеустремлённым. Компонент значения отражает общечеловеческие познавательные константы, а смысл – личностные ценности, производные от природы человека и общества с его культурой и «преломлённые» через индивидуальные особенности конкретного человека.

Инстанция сознания имеет и энергетическую природу, которая проявляется в феномене воли, как полагал В. Вундт (воля есть энергия сознания). Что это за энергия? Возможно, что это и энергия «сопряжённого» с мозгом физического вакуума. Тогда воля – механизмы, посредством которых субъект на уровне эго-центра как бы извлекает энергию из вакуума, концентрируя её в волевом усилии и направляя как волевое действие на организацию тех или иных процессов самоуправления. Чем больше сила воли, тем больше извлекается энергии и больше возможности преобразования объективной реальности. Таким образом, будущее человека эволюционирующего – не только освобождение от материальной зависимости, но и непосредственное преобразование материальной среды, если человек является преобразователем энергии вакуума в силу воли.

Следовательно, как источник энергии, инстанция сознания скорее материальна, поскольку порождает продуктивную силу, способную регулировать материальные процессы. Посредством волевого усилия субъективная реальность и становится фактом реальности объективной под контролем сознания, которое ещё З. Фрейд рассматривал как механизм объективизации окружающего мира, рационализации поведения, приравнивая его акту внимания. В аспекте феномена внимания А.Р. Лурия построил модель инстанции сознания с его «фокусом», ближней и дальней перифериями, к которым можно добавить и область бессознательного, если ближнюю периферию рассматривать как предсознание, а дальнюю – как подсознание. Для целей моделирования особенное значение имеет и теория личного сознательного с его структурой К. Юнга.

Феноменология сознания как целостного явления разрабатывается и в рамках концепции двух составляющих сознания (по аналогии с теорией комплексных чисел в математике): Re – рациональный компонент и Im – иррациональный компонент (Ю.М. Забродин, А.А. Понукалин). Целостное сознание (*consciousness*) как сумма (компиляция) реального и мнимого сознаний по аналогии с комплексными числами ($z=x+iy$) может быть представлена тогда как $Consc=Re+Im$, где Re – субъективная реальность в состоянии оптимального бодрствования, а Im – субъективная реальность в сновидческом (или изменённом) состоянии (ирреальность). Такой подход позволяет использовать для моделирования состояний и проявлений сознания теорию комплексных чисел.

Комплексное число z образовано парой вещественных чисел x и y , которые отражают показатели субъективной реальности-ирреальности. Вещественная часть комплексного числа z : $x=Re(z)$ отображает показатель субъективной реальности в состоянии бодрствования, а мнимая часть числа z : $y=Im(z)$ отображает показатель субъективной реальности в состоянии сна (ирреальности). Полное значение показателя субъективной реальности в каждый момент времени $Consc(T, t)$ или значение за некоторый временной период определяется модулем комплексного числа $|z|=(x^2+y^2)^{1/2}$, что отражает показатель субъективной реальности независимо от состояния организма (бодрствования, сна).

Возможности использования комплексного числа для моделирования динамического процесса смены состояний бодрствования-сна и смены соответствующих субъективных реальностей Re , Im проявляются в графическом изображении комплексного числа на плоскости как точки: $M(x, y)$ с координатами x , y и углом φ между осью OX и прямой OM . Угол φ (поворота OX до совпадения с OM – против часовой стрелки) есть аргумент комплексного числа $z[x, y]$. Этот угол определяется с точностью до целого числа оборотов: все углы $\varphi+2k\pi$ есть аргументы z при k , принимающем все возможные, как положительные, так и отрицательные целые значения, включая 0.

Если заменить x на $|OM|\cdot\cos\varphi$, а y на $|OM|\cdot\sin\varphi$, то $z=[|OM|\cdot\cos\varphi, |OM|\cdot\sin\varphi]$ или $z=|OM|\cdot(\cos\varphi + i\cdot\sin\varphi)$. Тогда i представляет собой оператор поворота OM на угол $\pi/2$. Если же натуральный ряд чисел k сопряжён с осью физического времени, то тогда представление $Consc$ как комплексного числа есть отображение динамики показателя субъективной реальности в зависимости от времени суток ($2k\pi T$) с поправкой на угол $\varphi(t)$:

$$\text{Consc}(T, \varphi) = \text{Re} \cdot \cos(\varphi + 2\pi T) + \text{Im} \cdot \sin(\varphi + 2\pi T).$$

Из этого выражения следует тот известный факт, что в течение суток и на протяжении всей жизни человека показатель субъективной реальности периодически переходит из характеристик состояния Re в характеристики состояния Im и наоборот, достигая максимумов в состоянии оптимального бодрствования (наиболее ясное сознание) в случае Re и в состоянии сновидения, когда сновидческая ситуация субъективно реальна, в случае Im .

Представление о «потоке сознания» становится предметным, если для выражения комплексного числа использовать функцию Эйлера (разложение в степенной ряд функции $e^{i\lambda}$), в результате чего динамическое состояние отображается в форме волнового процесса: $\cos \lambda + i \sin \lambda = e^{i\lambda}$. Отсюда, если $\lambda = t\omega$, где $\omega = 2\pi f$ и f – частота колебаний, $e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t$, а $z = |\text{OM}| \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{i\varphi}$. Следовательно, $\text{Consc}(T, \varphi) = |\text{Consc}| \cdot e^{i\omega T + \varphi}$.

«Поток сознания» как волновой процесс может быть представлен в терминах, например, электромагнитных явлений в проводящей среде, для описания которой используется теория комплексных чисел. Например, если «поток сознания» пронизывает некую материальную среду (в частности, волевое побуждение, как действие «энергии» сознания), то такая среда обладает сопротивлением (поскольку волевое напряжение приводит к израсходованию внутренних сил). Ситуацию можно представить как прохождение электрического тока, порождаемого приложенным напряжением от источника энергии, в проводящей цепи, характеризующейся комплексным полным сопротивлением: $Z(i\omega) = R(\omega) + iX(\omega)$, где $R(\omega)$ – активное сопротивление цепи; $X(\omega)$ – реактивное сопротивление цепи.

В цепи переменного тока мощность $P(i\omega) = U \cdot I$ характеризуется активной и реактивной составляющими в силу комплексности сопротивления среды, когда образуется разность фаз (φ) между приложенным напряжением $U = I \cdot Z(i\omega)$ и током в цепи: $\varphi = \arg Z(i\omega)$, а отношение амплитуд U и I равно $|Z(i\omega)|$. Из этих представлений видно, как зависит «поток сознания» от источника «энергии сознания» и проводимости среды, порождающей реальные и мнимые её состояния по отношению к «потоку».

Значительные возможности в изучении природы сознания представляет использование комплексных векторов при операциях с синусоидальными векторами, что приводит к выпадению времени (t) из получаемых уравнений, в частности, при подстановке комплексных векторов в линейные уравнения, например, в уравнение Максвелла: $\text{rot } \mathbf{H} = \sigma \cdot \mathbf{E} + \varepsilon \cdot \partial \mathbf{E} / \partial t$. Синусоидальным векторам \mathbf{H} и \mathbf{E} будут соответствовать комплексные векторы \mathfrak{H} и \mathfrak{E} : $\text{rot } \mathfrak{H} = (\sigma + i\omega\varepsilon) \cdot \mathfrak{E}$ или $\text{rot } \mathfrak{H} = i\omega\eta \cdot \mathfrak{E}$, где $\eta = \varepsilon - i\sigma/\omega$. Если «поток сознания» представить в качестве волнового процесса, подчиняющегося законам комплексных чисел, то, имея в виду уравнение Максвелла в приведённом виде, можно говорить о природе сознания как связанных волнах типа магнитных и электрических, периодически переходящих одно в другое в цепи с комплексным полным сопротивлением.

Наконец, если «поток сознания» есть периодическая функция ψ (с периодом $T = 1/f$, т.е. функция от $t + nT$, где n – целое число), то она может быть разложена в ряд Фурье:

$$\psi = r_0 + \sum_{m=1}^{\infty} r_m \cdot \cos(m \omega t) + \sum_{m=1}^{\infty} i_m \cdot \sin(m \omega t), \text{ где } \omega = 2\pi / T = 2\pi f.$$

Подобное представление может оказаться полезным в объяснении феноменологии изменённых состояний сознания, его расщепления, исчезновения и возникновения.

Для объяснения феноменов внимания полезным, возможно, окажется и применение комплексных векторов: $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_1 + \mathbf{Q}_2$ с их вещественными и мнимыми частями, которые отображают некоторые вектора \mathbf{q} , синусоидально зависящие от времени ($\mathbf{q} = \mathbf{Q}_1 \cdot \cos \omega t - \mathbf{Q}_2 \cdot \sin \omega t$). Вектор \mathbf{q} вращается в плоскости, определённой вещественными векторами \mathbf{Q}_1 и \mathbf{Q}_2 с угловой скоростью ω . Для векторов, синусоидально зависящих от времени, если их

проекции на оси прямоугольной системы координат являются синусоидальными скалярными величинами – вещественными частями комплексных чисел, комплексный вектор играет роль, аналогичную роли комплексных токов и напряжений для токов и напряжений, синусоидально зависящих от времени. Расчёты с такими векторами упрощаются при использовании комплексных векторов.

Вектор \mathbf{q} – это вещественная часть комплексного вектора $\mathbf{Q} \cdot e^{i\omega t}$, а его мнимая часть – вектор \mathbf{q}' , отстающий по фазе от \mathbf{q} на $\pi/2$. Координаты вектора, определённого в *комплексном пространстве*, представляются (в отличие от плоскости, где определяется комплексный вектор) комплексными числами. Таким образом, координаты в n -мерном комплексном пространстве являются комплексными числами, что представляется перспективным для моделирования сенсорно-перцептивных пространств в качествах субъективной реальности-ирреальности (на уровнях $\text{Consc}=\text{Re}+\text{Im}$).

Все правила, относящиеся к преобразованиям с помощью матриц, обобщаются на комплексное пространство и такие преобразования возможно использовать для объяснения измерительно-оценочных свойств механизмов психического отражения. Значительный интерес в этом плане представляют и операции конформных отображений. Преобразование комплексной функции z из одной плоскости в другую Z так, что функция $Z=f(z)$ сохраняет вид бесконечно малых элементов отображения кривой: $dZ=e^{i \arg f(z)} \cdot |f'(z)| dz$, когда элемент dz отображаемой кривой удлиняется в $|f'(z)|$ раз и поворачивается на угол $\arg f'(z)$, а точка с аффиксом ($z=x+iy$) отображается точкой с аффиксом ($Z=X+iY$). Особенности конформных отображений могут оказаться полезными в объяснении различных иллюзий восприятия, а также свойств константности и ортоскопичности восприятия, апперцепции, феноменов перцептивного научения.

В чём особенность и значение числа i ($i=\sqrt{-1}$)? Положительные и отрицательные числа отображают такую физическую реальность, в которой субстрат имеет полярную (в некотором смысле симметричную) природу. Совмещение одинаковых разнополярных величин приводит к их взаимокомпенсации («аннигиляции») и величина аполярности становится равной нулю (абсолютная симметрия). Например, если вдруг совместить оси вращения двух тел (с левым и правым вращением), то направление вращения исчезнет (станет равным нулю).

Что означает корень квадратный вообще? Это операция, обратная сложению некоторой величины с самой собой столько раз, сколько в ней содержится единиц. Например, $3+3+3$ (3 раза) $=3 \cdot 3$ (более удобная форма записи) $=9$; тогда: $\sqrt{9}=3$ – есть возвращение к исходному числу. Стало быть, $\sqrt{-1}$ представляет собой некое «исходное число», которое на самом деле является оператором преобразования действительных чисел в отношении полярных несовместимых субстратов.

Комплексное число применимо к тем величинам, которые принадлежат полярным субстратам и они не могут быть совмещены, чтобы не скомпенсировать друг друга, но они взаимодействуют, образуя некоторую целостность, которая по своей природе двойственна, но выходит за границы этих исходных субстратов. Поэтому в такой целостности (единстве борющихся противоположностей), например, в сознании, в её количественной модели появляется мнимая величина как единица измерения взаимодействия полярных субстратов.

В психике может быть выделено два, находящихся в полярных отношениях, центра. Один проявляется в субъективной реальности в чувствах любви, совести, социального долга, доброжелательства (это от «бога» с принятой его характерологией как эталона нравственности и отражает духовную природу человека). Другой центр проявляется в чувствах ненависти, бессовестности, асоциальности, злобности и агрессии (это от «сатаны» и отражает биологическую природу человека). В действиях центров и проявляется субъект с его эго и как «внутренний наблюдатель», и как источник воли. Определённая аналогия с такой моделью просматривается в конструктах сознательного-бессознательного З. Фрейда.

Сознание в своём процессуальном содержании неразрывно связано с памятью. Поэтому память следует рассматривать как специфический субстрат, где сохраняются и действуют (живут) субъективные образы в процессах осознания, это база (скорее всего, материальная) сознания. Возникает вопрос, где локализуется память, где находится та «чувственная сфера» (Б.Ф. Ломов), на которую работают все органы чувств, и что есть «чувственная ткань» (А.Н. Леонтьев), где строятся модальные субъективные образы? Материально ли сенсорное пространство (Ю.М. Забродин)?

Нейронные сети вряд ли могут быть субстанцией памяти на образы, поскольку образы – это системы ощущений, представленных субъекту как целостные конструкты (образования), когда сам субъект выступает в качестве «внутреннего наблюдателя». Пребывая в состоянии сознания он со своим «эго-центром», собственным «Я» фактически пребывает в пространстве действующей памяти, а восприятие – часть этого перцептивно-мнемического действия как «текущая» память – иконическая, кратковременная, оперативная, долговременная. Из подобных обстоятельств можно заключить, что сознание имеет свою, относительно автономную, субстанцию. Возникает вопрос, где же, если не в мозговых структурах, существует чистая субъективная реальность, индуцируемая посредством органов чувств и мозговых структур, действующих в соответствии с некоторыми устойчивыми законами?

Сознание как состояние субъекта имеет, по всей видимости, механическую природу своей реализации, поскольку «потеря» сознания, т.е. когда $Consc=0$, происходит от удара по голове (механическое воздействие). Сознание «теряется» в результате действия на мозг механического импульса, когда мозг «отключается» от субъекта сознающего и в результате исчезает сам «внутренний наблюдатель», т.е. пропадает память (человек в беспомощности). Значит, «внутренний наблюдатель», его память и сознание связаны механически с мозгом, но в самом мозге нет «внутреннего наблюдателя» как сознающего субъекта и, скорее всего, нет памяти в её субъективных качествах. (Существует и эффект влияния на психику акустических волн инфранизких частот большой мощности, которые могут оказывать, видимо, механическое воздействие на мозг и вызывают аффективную реакцию).

Главное – сознание после удара по голове (состояние беспомощности) восстанавливается (человек в «памяти»), но может и частично утрачиваться в аспектах амнезии. Выделяется феномен амнезии на себя: о себе ничего не помнит, но способности, знания и умения сохраняются. Это значит, что существует как бы два субъекта. Один – тот, что сохраняет в своей специфической памяти биографическую информацию (субъект биографический), другой – субъект деятельности, речи, письма, мышления с своей специфической памятью. Как разделяются две эти памяти, если одна из них может «теряться»? Значит, речь и письмо вродены в своих механизмах и проявлениях в организм (и психику) помимо физического (в состоянии бодрствования) сознания. Тогда получается, что ребёнок рождается с неограниченными возможностями, а потом опытным путём овладевает лишь некоторыми «стандартами».

Субстрат памяти должен быть материальным, поскольку сопряжён с мозгом. Тогда это будет означать, что субъективная модальность существует не в нейронной структуре, а в пространстве, сопряжённом с ней. Стало быть, искомый субстрат (субстанция памяти) имеет пространственную природу и конструкцию, т.е. обладает пространственной структурой. Вопрос в том, что она из себя представляет и как образуется её структура, сопряжённая с мозгом. Либо это некий субстрат, в который «погружены» нейроны, либо то, что находится внутри самих нейронов, но в любом случае – это целостный субстрат. Какова его материальная природа? Может ли быть субъективная модальность материальной? (Остаётся ещё вопрос о том, где всё-таки осуществляется эго-центрация психической деятельности).

Следовательно, субстрат собственно субъективной реальности принадлежит физическому пространству, организованному особым образом мозговыми структурами, но не самому мозгу. Во всяком случае, речь идёт о субстрате в физическом трехмерном пространстве, заполненном какой-либо формой материи (эфир, вакуум). Возникает проблема субстра-

та физического пространства, связанного с мозгом, как носителя субъективной реальности в её модальных качествах. Как же взаимодействует органическая клетка с структурами этого субстрата? Как электрический (или другой по своей физической природе) сигнал передаётся с нейрона мозга в эти структуры, сохраняется там и воспроизводится либо произвольно, либо произвольно? Взаимодействие нейрона (нейронных систем и сетей) с этим субстратом нарушается в результате удара по голове и это значит, что субстрат имеет элементы механической природы, обуславливающей состояния сознания.

Скорее всего, между физическим миром на уровне организованного мозгом пространства и миром субъективным (объективной и субъективной реальностями) должна существовать промежуточная субстанция как преобразователь одной реальности в другую. На уровне этой субстанции, обладающей свойствами и объективной и субъективной реальностей, теоретическая физика в познании глубин строения материи переходит в теоретическую психологию (с её объектом – сознанием) как науку о природе живого и неживого, объективного и субъективного, индивидуального и социального. Теоретическая психология становится интегративно-системной, а пока сознание является объектом многих наук, межпредметной областью исследования, т.е. фактически объектом философских размышлений и рассуждений.

В конечном счёте, если предположить, что на первом уровне организованного мозгом пространства строится «вакуумная копия» мозга, то тогда на каком-то более высоком уровне существует и «духовная копия» мозга как психический субстрат с его субъективными качествами, т.е. то, что ещё в древности называли душой. «Душа» в таком случае (как гипотетическая категория в научном анализе) связана с мозгом «вакуумной копией», через посредство которой мозговые процессы становятся психическими, а психические – мозговыми. При этом мы имеем дело с следующей схемой преобразований: Мозг ↔ Вакуумная копия ↔ Душа. Таким образом, мозг взаимодействует (взаимообмен) с вакуумной копией, а она – с душой, т.е. мозг как материальная субстанция через вакуумный конструкт взаимодействует с душой как духовной субстанцией. В свою очередь, духовная субстанция имеет и свою, возможно, иерархическую структуру.

Если мозг строит свою вакуумную копию, как промежуточную инстанцию между ним и душой, то возникает вопрос о том, почему эта «копия» перемещается в физическом пространстве вместе с мозгом (когда человек движется как механический объект)? Видимо, вакуумные целостные образования обладают по отношению к механически движущимся телам особыми свойствами, которые проявляются и в чисто физических явлениях. Например, любое тело, перемещающееся в физическом пространстве на поверхности Земли, независимо от этого испытывает в каждый момент времени действие гравитационного поля. Вращающийся гироскоп перемещается в пространстве (по любой траектории в плоскости вращения), но в любой точке пространства возникает одинаковая сила сопротивления «опрокидыванию» гироскопа. Таким образом, существуют некие явления, не зависящие от локализации в физическом пространстве движущегося тела.

Остаётся существенным также и вопрос о том, что первично в онтогенезе – мозг или его вакуумная копия? Ответ на этот вопрос следует искать в понимании того, что происходит в процессе дифференциации однородных клеток бластулы зародыша человека. Первичная клетка делится на две идентичные, но в конечном счёте появляются специализированные клетки, отличные от первичной, и это значит, что на каком-то этапе деления очередной клетки её дочерние клетки оказываются различными. Такие различия не могут быть результатом действия генетической программы, поскольку она неизменна во всех, даже строго специализированных, клетках. В действительности, программа дифференцировки однородных клеток бластулы зародыша привязана к *пространственной локализации* этих клеток. Развитие зародыша из бластулы вначале и происходит как процесс формообразования, который затем переходит в формирование тканей – нервной, мышечной, хрящевой, зачатков скелета и мышц. Следовательно, программа деления с целью формообразования (а возможно, специализации

клеток) действует не со стороны самой клетки, но со стороны пространства, в котором в таком случае должен сохраняться некий формный эталон будущего тела с его органами, конструкцией и функциями. Потому и действие программы деления можно представить как конформное преобразование.

Именно пространственное различие становится причиной дифференцировки клеток, из которых затем строятся специализированные органы¹. Особенное значение имеет то, что в формообразовании выделяется группа клеток, которая становится организационным центром строительства человеческого тела. Почему же одна (из всех одинаковых) группа клеток становится центром управления для всех других? Одинаковость зародышевых клеток – это то обстоятельство, которое наводит на мысль о существовании внешнего источника сигналов, централизованного по своей морфологии. Если предположить, что эталонный вакуумный «прообраз» живого организма первичен в качестве его «проекта», то тогда процессы эгоцентризации, формирования собственного Я-субъекта имеют своим источником «организационный центр», управляющий строительством тела (в том числе и мозга) и локализованный в пространственном «прообразе» (вакуумной копии мозга).

Физический вакуум наполнен микроэлементами, намного меньшими элементарных частиц вещества пространственно локализованных (концентрированных) масс. Поэтому механизм связи вещества с вакуумом – это клеточные структуры, которые организуют элементы вакуума на микроуровне сложнейшим образом (возможно, и наоборот). Вот почему связь с вакуумом осуществляется на микроуровне. Таким образом, физический мир на микроуровне представляется частью психического мира.

Взаимодействие вещества (атомы, молекулы, нейронные сети) с вакуумом, по всей видимости, проявляется в эффектах полей и волн, когда вещество активизирует вакуум или когда вакуум активно воздействует на вещество. По всей видимости, сопряжение головного мозга и его вакуумной копии имеет полевую природу, а их взаимодействие проявляется в физических волновых процессах. Это значит, что сопряжение связано с потреблением и расходом тех или иных форм энергии. Рассмотрим два выражения энергии, используемых в практических вычислениях: $\varepsilon = h \cdot \nu$; $\varepsilon = m \cdot c^2$. Взяв одинаковыми по величине левые части этих выражений, приравняем друг другу правые их части и получим соотношение: $h \cdot \nu = m \cdot c^2$. Это значит, что $m = k \cdot \nu = k \cdot 1 / T$, где T – период колебаний, определяющий длину волны λ ($\lambda = \nu \cdot T$), ν – скорость распространения волны. Отсюда следует, что чем меньше масса частицы, тем большая длина волны ей соответствует (если частицу рассматривать и как волну).

В пределе, когда $m \rightarrow 0$, $\lambda \rightarrow \infty$, ($\lim \lambda = \infty$), т.е. частица как волна становится пространственно бесконечной (этот вывод справедлив лишь в пределах справедливости исходных уравнений, в частности и положения о скорости света как константе и предельно возможной в физическом мире). Тем не менее, на микроуровне элементы материи как волновые процессы «распределены» в значительном по объёму пространстве и потому в своих проявлениях могут слабо зависеть от него.

Материальными частицами в физике называют частицы с ненулевой массой покоя (таким образом, материя отождествляется с массой, т.е. с тем свойством природных конструкций, которое проявляется в законах механики). Материальные частицы обладают волновыми свойствами. Идеи волновой теории материальных частиц высказаны Луи де Бройлем (с каждой частицей связана волна), чьим именем названы волны, характеризующие волновую природу материальных частиц. Волну де Бройля представляют комплексной волновой функцией: $\psi(x, t) = A \cdot e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega t)}$, где A – постоянная амплитуда, \mathbf{k} – волновой вектор, ω – частота. Преобразования функции ψ дают выражения для длины волны материальной частицы: $\lambda = 2\pi / k \cdot (h/2)$.

¹ Пространственная локализация проекционных зон коры головного мозга также является единственным объективным признаком различия модальностей ощущений.

С движущейся частицей связана волна, характеризующаяся волновым вектором \mathbf{k} , который определяется импульсом частицы \mathbf{p} . В зависимости от скорости её движения длина волны определяется выражением: $(h/mc) \cdot (1 - [v/c]^2)^{1/2} / (vc)^{-1}$. С возрастанием скорости v движения частицы длина волны λ уменьшается и при данной скорости она обратно пропорциональна массе частицы. Если же $m \rightarrow 0$, $\lambda \rightarrow \infty$ и $\lim \lambda = \infty$, то скорость такой частицы должна уменьшаться ($v \rightarrow 0$), т.е. частица с нулевой массой не движется! (В соответствии с определением материальности частицы, следовательно, когда нет движения, нет и материи). При данной же массе длина волны уменьшается с возрастанием энергии ε , а при заданной полной энергии λ растёт с ростом массы. Значит, при $\varepsilon \rightarrow 0$, $\lambda \rightarrow \infty$, что невозможно в случае материальной частицы.

В нерелятивистском приближении выражение для λ имеет вид: $\lambda \approx h/m \cdot v$. Если частица с $m \rightarrow 0$ имеет $\lambda \rightarrow \infty$, то она, как волна, существует в любой точке пространства одновременно. Значит, в таком существовании исчезает время и частица в своей волновой реализации становится независимой от пространства и времени – она вне времени и везде. Следовательно, волновой процесс не является процессом изменения волнового свойства частицы ни во времени, ни в пространстве, и это изменения по какому-то иному физическому параметру. На уровне таких частиц мы имеем дело со своеобразным физическим субстратом (формой материи). На этом уровне понятие информации становится другим и, скорее всего, подобный субстрат пребывает в состоянии абсолютного покоя (полной симметрии, когда взаимокомпенсируются все его полярные качества как формы материи).

Использование математических моделей объективной реальности в изучении феномена сознания, в которых представляемые процессы не зависят от времени, может оказаться продуктивным, поскольку сознание на уровне различных форм субъективной реальности способно проявлять себя в прошлом, настоящем и будущем, связанными в одно целое. Тогда жизнь, как явление природы, возможное вне физического времени и пространства, подчиняется закону своего сохранения. Существующее физическое знание заканчивается на уровне процессов, свойств, состояний вакуумной конструкции, как некоей формы, целостного образования, сопряжённого с головным мозгом человека. Знание же о духовном мире, материализующемся и проявляющемся в реальной действительности, аккумулируется в религиозных учениях. Знание «промежуточное»: о взаимодействии вакуумного конструкта и «Души» можно обнаружить в учении о «Прави» в Ведах, древних мифах, легендах, преданиях, эпосе; оно сосредоточено и в опыте человечества. В свете рассматриваемого подхода к изучению природы человека, религиозные и ведические, равно как и все другие, учения должны стать предметом научного осмысления, основанного на психологии.

Для науки становится актуальным вопрос: у родившегося ребёнка мозг сопряжён со своим «духовным конструктом», образуя симбиоз, или это сопряжение происходит в онтогенезе и в результате социализации ребёнка? Этот конструкт (называемый в религиозных учениях «ангелом-хранителем» или каким-то другим именем духовного существа) передаёт ребёнку речь, письмо, мышление как качества и психофизиологические механизмы их реализации, что объясняет рассмотренные нами пси-феномены. В норме этот «духовный конструкт» гармонично сопряжён с мозгом человека, его физическим сознанием и волей. В некоторых случаях в этом сопряжении появляются дефекты и тогда возникают признаки психопатологии, экстрасенсорных способностей, автоматического письма и говорения, творчества и т.п. Реальная психика человека зависит от связи «Я» с своим духовным «существом», которую можно изменять произвольно (йога, дзен, и другие пси-практики) и тогда человек получает через это «существо» доступ в духовный мир, где физические законы не действуют, если произошло «одухотворение» человека.

Аномальные явления с этой точки зрения тогда можно рассматривать как ошибку материализации духовного плана в физическом (биологическом) мире, мозге человека. Религия относит аномальные проявления к проiscaм «дьявола», действующего через «бесов», и это

всё имена и явления, характеризующие духовный план бытия. Следовательно, духовный мир полярен («бог» – «дьявол»), но в отличие от физического мира – на признаках нравственного порядка. Тогда причиной ошибок материализации духовного плана служат «провокации» со стороны физического мира и человека, но не со стороны духовного мира.

Поскольку он полярен, там есть всё, но для проявления чего-то нужно в материальном бытии (физическом мире) преодолеть запреты – экологию, мораль. Если они нарушаются, то и возникают каналы проникновения этого чего-то в материальное бытие (физический мир). Так как причины проникновения – нарушения запретов, то религия и относит их к дьявольщине, как аморальным проявлениям с точки зрения их социального значения.

Религия накопила обширные знания о проявлениях инстанции души и духовного мира и эти знания необходимо перевести на язык науки о человеке, сопрягая их с естественно-научными знаниями так, чтобы между физической и духовной инстанциями описания человека была устранена существующая ныне концептуальная пропасть, породившая необходимость введения в познание природы гностического предела, имя которому – Бог. Важнейшее направление современного человековедения определяется неизбежностью концентрации когнитивных усилий на изучении того, что скрыто за этим пределом, поскольку преодоление порога познания на уровне духовного мира становится условием жизнеспособности цивилизации уже в ближайшем будущем.

Понукалин Алексей Алексеевич –

доктор социологических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Психология и акмеология»
Саратовского государственного технического университета

ЮБИЛЕИ

ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЗАЙЦЕВ (к 70-летию со дня рождения)

Ю.А. Зайцев родился 26 декабря 1934 года в г. Аркадаке Саратовской области. В 1957 году окончил Саратовский автодорожный институт с дипломом инженера-механика. С 1957 по 1959 гг. работал инженером-конструктором на Саратовском станкостроительном заводе, а затем в Саратовском политехническом институте сначала ассистентом, а с 1970 г. доцентом кафедры деталей машин. В 1970 г. защитил кандидатскую диссертацию. Разработанная в диссертации методика расчёта барабанов лебёдок при многослойной навивке каната успешно была внедрена Главстроймашем на предприятиях отрасли. С 1977 по 1980 гг. и с 1991 по 2000 гг. – декан машиностроительного факультета, с 1986 по 1988 гг. – декан факультета повышения квалификации ИТР. С 1988 г. – заведующий кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики.



За высокие показатели в организационной, научной, учебно-методической работе и долголетний труд награждён орденом «Знак почёта», медалью «Ветеран труда» и знаком «Заслуженный работник Высшей школы».

Ю.А. Зайцев является автором более 160 печатных работ, в том числе научной монографии, 6 учебных пособий с грифом Госкомвуза и научно-методического совета по инженерной графике Министерства образования Российской Федерации. В 1994 г. решением Госкомвуза РФ Ю.А. Зайцеву присвоено учёное звание профессора. Основное направление научной деятельности – исследование перспективных изображений, геометрические модели субъективного пространства и процесса зрительного восприятия объёмных тел по плоскому изображению. В монографии «Наглядные изображения», посвященной этому вопросу, даются результаты исследований по нелинейной и псевдолинейной перспективе.

Целый ряд работ Ю.А. Зайцева связан с разработкой методов геометрического моделирования и графических моделей, совершенствованием непрерывного графического образования учащихся и студентов в области графических дисциплин. По этой проблеме в Саратове проведены четыре Всероссийских семинара «Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации», по итогам работы которых изданы три научно-методических сборника. По данной тематике под руководством Ю.А. Зайцева защищены 6 кандидатских диссертаций. Эти научные исследования внедряются в практическую работу, используются на факультете повышения квалификации преподавателей и в институте усовершенствования учителей. По проблеме развития творчества молодёжи в области графического образования под руководством Ю.А. Зайцева в Саратове проведены шесть Всероссийских конкурсов, участниками которых были команды из 30 городов России. Ю.А. Зайцев постоянно ведёт работу по развитию конструкторского и техно-

логического мышления будущих специалистов на базе геометрических и конструкторских задач, разрабатываемых на кафедре начертательной геометрии и инженерной графики, и проводит большую работу по организации учебного процесса в университете. Под его руководством разработаны учебные планы по специальностям машиностроительного цикла, на кафедре в течение многих лет издается межвузовский научно-методический сборник.

Ю.А. Зайцев является членом научно-методического совета по начертательной геометрии и инженерной графике в Министерстве образования и науки РФ, и руководит в нём секцией по работе с творческой молодёжью, возглавляет Поволжский научно-методический совет по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике.

Поздравляем Юрия Александровича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, творческих успехов и долголетия.

Кандидат технических наук, доцент
А.В. Васильков

МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ ФУРСАЕВ
(к 70-летию со дня рождения)

19 декабря 2004 г. исполняется 70 лет профессору, доктору технических наук, лауреату Государственной премии СССР Фурсаеву Михаилу Александровичу, известному в России и за ее рубежами ученому в области электроники сверхвысоких частот (СВЧ), педагогу высшей школы, воспитавшему не одно поколение инженеров, аспирантов и молодых исследователей в стенах политехнического института (ныне Саратовского государственного технического университета). Он стоял у истоков организации подготовки инженеров-электроников в интересах быстро развивающейся в 60-е годы в Саратове электронной промышленности.

Михаил Александрович – коренной саратовец, здесь он родился в 1934 году. В 1952 году окончил 19-ю мужскую среднюю школу, чем очень гордится, поскольку в то время там работали прекрасные преподаватели-воспитатели. Детские годы – типичны для всех мальчишек Саратова военных и послевоенных лет: учеба в три смены, игра в футбол на многочисленных городских пустырях, посещение госпиталей, стояние в ночных очередях за мукой. Его отец, профессор университета, геоботаник, очень хотел, чтобы сын был продолжателем его дела, поэтому часто брал его с собой на экскурсии. Однако веяния времени оказались сильнее, и Михаил Александрович после окончания школы поступил на очень модный в то время физический факультет СГУ. Учась на 4-м курсе, стал заниматься научной работой в группе, которой руководил тогда еще доцент Ю.Г. Альтшулер, над созданием первых отечественных ламп обратной волны (ЛОВ) О-типа. В 1957 году окончил университет по кафедре «Электроника», которую в то время возглавлял доцент В.Н. Шевчик, впоследствии ректор СГУ, один из самых известных саратовских ученых в области электроники СВЧ.



Дальнейшая судьба М.А. Фурсаева тесно связана со старейшим в Саратове предприятием электронной промышленности – заводом «Тантал». Сюда он был направлен по окончании университета для продолжения работ по доводке до серийного производства разработанной в университете ЛОВ. В ОКБ завода «Тантал» он проработал до сентября 1986 года. Прошел должности инженера, старшего инженера, ведущего инженера, начальника лаборатории разработок электронных СВЧ приборов. В последней должности проработал более 20 лет.

В 1958 году в Советском Союзе началась разработка нового вида СВЧ усилителей магнетронного типа (М-типа) – амплитронов. С созданием, проектированием и организацией производства таких приборов была связана вся его работа до перехода в политехнический институт. Михаил Александрович был научным руководителем или главным конструктором более 25 НИР и ОКР, в результате выполнения которых созданы 20 типов новейших приборов. Из их числа более 10 типов приборов были внедрены в серийное производство. Они нашли применение в ряде важнейших радиоэлектронных систем.

В 1964 году без отрыва от производства М.А. Фурсаев защитил кандидатскую диссертацию. Это была первая в СССР диссертация, посвященная амплитрону. Одновременно с разработкой новых приборов ему приходилось заниматься теорией и моделированием весьма сложных электронных процессов в амплитроне, что, естественно, положительно отражалось на результатах его работы как инженера-разработчика. В свое время о нем говорили: «Это лучший теоретик среди разработчиков амплитронов и лучший разработчик среди теоретиков». Михаил Александрович имеет широкую известность и большой авторитет среди отече-

ственных разработчиков электронных приборов и радиоэлектронной аппаратуры. Еще в 1968 году он был отмечен в обзоре «Современные усилители М-типа», выпущенном ЦНИИ «Электроника», г. Москва, среди тех, кто внес наибольший вклад в создание этих приборов. В 1976 году в издательстве «Советское радио» вышла монография «СВЧ усилители со скрещенными полями», главы которой, посвященные амплитрону, были написаны им.

Кроме разработок амплитронов М.А. Фурсаев занимался вопросами создания радиоэлектронных устройств на базе этих приборов. Так, в частности, им были предложены пути усовершенствования схемы возбуждения микротрона (ускорителя заряженных частиц), в которой используется амплитрон, работающий в автогенераторном режиме. Данные предложения позволили реализовать идеи профессора С.П.Капицы о принципиальной возможности такой схемы возбуждения микротрона.

В 1985 году по результатам выполненных научных исследований и разработок М.А. Фурсаев защитил докторскую диссертацию.

Большое внимание Михаил Александрович уделял подготовке инженерных кадров в новейшей для того времени области науки и техники. С 1964 по 1971 годы он работал по совместительству сначала старшим преподавателем, а затем доцентом кафедры «Электроника» СПИ, где читал важнейший курс «Приборы сверхвысоких частот», руководил курсовым и дипломным проектированием. В 1969 году в СПИ было выпущено первое в стране пособие по курсовому проектированию «Основы расчета платинотрона», а в 1976 году в издательстве МЭИ вышли две части учебного пособия «Усилители М-типа с катодом в пространстве взаимодействия», в котором он был соавтором.

В начале 70-х годов, как вспоминает Михаил Александрович, в связи с большим объемом работы встала проблема выбора между преподавательской и инженерной деятельностью. Выбор инженерного направления определился в 1971 году, когда он принимал участие в испытаниях на полигоне радиолокационной станции, в передатчике которой стоял разработанный им прибор. Важность и значение для страны его работы определили его решение. Дальнейшие события подтвердили правильность сделанного выбора.

В конце 70-х годов начались работы по созданию радиолокационной системы дальнего обнаружения космических объектов. Для передатчика потребовались СВЧ приборы большой мощности. М.А. Фурсаев принял самое активное участие в работах по их созданию, за что в 1981 году был награжден орденом Трудового Красного Знамени, а по завершении работ в 1985 году он был удостоен высокого звания лауреата Государственной премии СССР.

С 1986 года М.А. Фурсаев работает в стенах нашего университета. Он 13 лет был заведующим кафедрой «Электротехника и электрооборудование». В настоящее время продолжает работать профессором кафедры «Электротехника и электроника». Является членом трех докторских диссертационных советов. Активно занимается научной, педагогической и учебно-методической деятельностью, руководит аспирантами. Им издана 31 методическая работа, из них 4 учебных пособия по электронике, опубликовано 115 научных работ, он является автором 13 изобретений.

Михаил Александрович разносторонне одаренный человек: в детские годы учился в музыкальной школе по классу виолончели, в студенческие годы и до 30 лет активно занимался штангой, был чемпионом области. Со школьных лет до 1985 года увлекался филателией, в настоящее время – активным отдыхом на даче.

Таков он, наш современник и коллега профессор Фурсаев Михаил Александрович. Пожелаем ему здоровья и новых свершений в его многосторонней деятельности. Поздравим его родных и близких с юбилеем.

Заведующий кафедрой «Электротехника и электроника»,
доктор технических наук, профессор
Б.К. Сивяков

ГЕННАДИЙ АДАМОВИЧ ХАСИНЕВИЧ (к 70-летию со дня рождения)

13 декабря 2004 года исполняется 70 лет со дня рождения начальника редакционно-издательского центра Саратовского государственного технического университета Г.А. Хасиневича.

Геннадий Адамович Хасиневич родился в 1934 г. в м. Житковичи Гомельской области. В 1946 г. семья переехала в г. Маркс Саратовской области. После окончания ремесленного училища Г.А. Хасиневич работал на заводе электрообмотчиком. В 1955-1957 гг. служил в рядах Советской армии – в гвардейском дивизионе береговой обороны флота в Прибалтике, был командиром отделения ПУС (приборов управления стрельбой). После демобилизации в 1957 г. был избран секретарем комсомольской организации детской трудовой воспитательной колонии г. Маркса. Уже в эти годы сформировались основные черты его характера: принципиальность, ответственность, стремление к лидерству в сочетании с талантом руководителя. Большую роль в его жизненной закалке сыграл спорт – занимаясь в спортивном обществе «Трудовые резервы» легкой атлетикой, он защищал честь Саратовской области на первенстве России, где занимал призовые места во многих видах соревнований.



С 1958 года биография Геннадия Адамовича тесно связана с нашим вузом, где он получил высшее образование и квалификацию инженера-механика. Поступив в мае 1958 г. на должность лаборанта в ВАДЗИ (Всесоюзный автодорожный заочный институт), после реорганизации вуза, в САДИ (Саратовском автодорожном институте) он работал старшим лаборантом, с 1964 г. уже в Саратовском политехническом институте был заведующим множительной лабораторией, впоследствии преобразованной в лабораторию оперативной полиграфии. Изучив на практике весь полиграфический процесс, работая вначале на ротаторе, затем на роттапринте, постоянно внедряя современные способы изготовления печатной продукции, Г.А. Хасиневич много сил потратил на приобретение для вуза новой полиграфической техники, стараясь всегда шагать в ногу со временем и осваивая прогрессивные технологии производства.

С 1986 года Г.А. Хасиневич возглавляет редакционно-издательский центр, объединяющий редакционно-издательский отдел, сектор допечатной подготовки рукописей и лабораторию оперативной полиграфии. Будучи организатором всей издательской и полиграфической деятельности в университете, Геннадий Адамович остается верным своим принципам, продолжая укреплять материально-техническую базу вуза современными копировальными аппаратами, компьютерной и специальной полиграфической техникой, обеспечивая увеличение объема внутривузовских изданий при возросшем качестве их исполнения.

Редакционно-издательский центр под его руководством ежегодно участвует в проводимых министерством информации и печати Саратовской области конкурсах на лучшую книгу, по итогам которых был награжден дипломами II и III степени в 2000, 2001, 2002, 2003 гг. На Втором общероссийском конкурсе учебных изданий высших учебных заведений «Университетская книга – 2002» РИЦ нашего университета был награжден Почетной грамотой Министерства образования Российской Федерации за успехи в учебном книгоиздании.

В 2003 году издания нашего вуза были представлены на Международной книжной выставке-ярмарке во Франкфурте (Германия), где получили высокую оценку участников.

Г.А. Хасиневич принял активное участие в организации издания ежеквартального научно-технического журнала «Вестник Саратовского государственного технического университета», освещающего все исправления научной деятельности нашего вуза.

Профессиональную работу Геннадий Адамович успешно совмещает с активной общественной деятельностью – был членом профсоюзного бюро АУО, работал в ревизионной комиссии профкома СПИ, входил в состав редакционно-издательского совета Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию. В настоящее время является членом редакционно-издательского совета университета.

За активное участие в развитии вузовского книгоиздания, большой вклад в обеспечение образовательного процесса учебной и научной литературой Г.А. Хасиневич неоднократно награждался Почетными грамотами вуза, его фамилия занесена в книгу Почета университета, он награжден знаком «Ударник XI пятилетки», медалью «За доблестный труд», медалью «Ветеран труда», имеет благодарность губернатора Саратовской области. В 2000 г. Геннадий Адамович Хасиневич награжден Почетной грамотой Министерства образования Российской Федерации, а в 2003 г. – нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

Высококвалифицированный специалист издательского дела, имеющий большой опыт как производственной, так и руководящей работы, Г.А. Хасиневич снискал заслуженное уважение в университете и среди своих коллег в других вузах.

Поздравляем Геннадия Адамовича с юбилеем, желаем ему здоровья, дальнейших трудовых успехов, счастья в личной жизни.

Коллектив редакционно-издательского центра