

УДК 681.51

И.А. Радионов

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ*

Предложена нелинейная система управления асинхронным электроприводом (АЭП), которая строится с применением синергетического подхода. Использование данного подхода позволяет осуществить синтез векторной системы управления АЭП, обладающей рядом преимуществ по сравнению с традиционной. Для осуществления перехода от физических координат к вращающейся системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления ротора, производится построение динамического наблюдателя состояния вектора потокосцепления ротора по информации, поступающей с датчиков тока и напряжения статорной обмотки.

Векторный регулятор; асинхронный электропривод; синергетический подход.

I.A. Radionov

SYNERGISTIC SYNTHESIS OF INDUCTION MOTOR VECTOR CONTROL SYSTEM

In this article the nonlinear system control of induction motor based on synergistic approach was proposed. Application of this approach allows to give induction motor vector control system which has several advantages as opposed to traditional systems. The control system is built in rotating coordinate system, which oriented on flux linkage vector. To go to it from natural coordinate system we use dynamic observer of flux linkage vector which based on information from stator winding sensors.

Vector regulator; induction motor; synergetic approach.

Введение. Наиболее распространенным типом электрической машины является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), что не удивительно, так как его конструкция отличается простотой и высокой надежностью. Но, в связи с нелинейностью и высокой размерностью дифференциальных уравнений его математической модели, длительное время подобный привод использовался, в основном, в нерегулируемых электромеханических системах (ЭМС). К настоящему времени, в решении проблемы управления подобными двигателями наибольшее практическое применение получили методы подчиненного и модального регулирования, в которых методика синтеза строится по принципу «компенсации» нелинейности моделей и сепарирования имеющихся каналов управления. Что, в свою очередь, негативно сказывается на способности систем регулирования отвечать современным требованиям к ЭМС, с точки зрения разнообразия решаемых технологических задач.

Проблема синтеза алгоритмов управления ЭМС переменного тока может быть успешно решена при использовании синергетического подхода и разработанного в его рамках, метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), базирующегося на принципах направленной самоорганизации и управляемой декомпозиции нелинейных систем [1, 2], и метода синтеза векторных систем управления ЭМС [3–5].

1. Структура синергетической системы управления АДКЗ. Математическая модель АДКЗ во вращающейся системе координат, ориентированной по направлению вектора потокосцепления ротора, представляет собой систему дифференциальных уравнений [6]:

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №10-08-00912-а).

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta_r}{dt} &= \omega_r; \\
 J \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{m}{2} p k_r \psi_r i_{sy} - M_c; \\
 \frac{d\psi_r}{dt} &= r_r k_r i_{sx} - \frac{1}{T_r} \psi_r; \\
 \frac{di_{sy}}{dt} &= -\frac{1}{T_s^*} i_{sy} - \omega_\psi i_{sx} - \frac{k_r}{L_s^*} \omega_r \psi_r + \frac{1}{L_s^*} u_{sy}; \\
 \frac{di_{sx}}{dt} &= -\frac{1}{T_s^*} i_{sx} + \omega_\psi i_{sy} + \frac{k_r}{T_r L_s^*} \psi_r + \frac{1}{L_s^*} u_{sx}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь u_{sx}, u_{sy} – проекции напряжения статора на оси X и Y вращающейся системы координат; i_{sx}, i_{sy} – проекции тока статора на оси координат; ψ_r – модуль результирующего вектора потокосцепления ротора; ω_r – угловая электрическая скорость ротора; θ_r – угол поворота ротора; $k_r = \frac{L_m}{L_r}$ – коэффициент электромагнитной связи ротора; r_s, r_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора; L_s, L_r – полные индуктивности обмоток статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность между статором и ротором; $L_s^* = L_s - L_m k_r, r_s^* = r_s + r_r k_r^2$ – преобразованные индуктивность и сопротивление статора; $T_r = \frac{L_r}{r_r}, T_s^* = \frac{L_s^*}{r_s^*}$ – постоянные времени

ротора и статора; p – число пар полюсов; J – приведенный момент инерции; m – число фаз двигателя; M_c – момент сопротивления нагрузки на валу асинхронного электропривода (АЭП). Предполагается, что переменные, относящиеся к обмотке ротора (напряжения источников питания, токи и потокосцепления), а также параметры обмотки ротора приведены к числу витков обмотки статора.

По аналогии с системой двухканального регулирования «Трансвектор» [6], схематично представим систему управления АДКЗ с синергетическим векторным регулятором и наблюдателем составляющих потокосцепления ротора (рис. 1).

В предлагаемой схеме датчик скорости (ДС) используется для изменения текущего значения скорости ротора двигателя. В блоке функционального преобразования (БФП₂) выполняется перевод мгновенных значений фазных токов и напряжений статора в проекции неподвижной системы координат статора (α, β) [6].

При этом, предполагая, что фазные значения тока статора подчиняются условию

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0,$$

преобразование запишется следующим образом:

$$i_{s\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} i_{sa}; \quad i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (i_{sa} + 2i_{sb}).$$

Преобразование управляющих воздействий u_{sx} и u_{sy} в трехфазную систему напряжений, формирующих амплитуду и частоту напряжения на выходе преобразователя частоты (ПЧ), осуществляется в два этапа [4]. Вначале, в блоке БКП₁ выполняется переход к неподвижной системе координат статора:

$$u_{s\alpha} = u_{sx} \cos \theta - u_{sy} \sin \theta;$$

$$u_{s\beta} = u_{sx} \sin \theta + u_{sy} \cos \theta;$$

а затем, в блоке БФП₁ – переход от проекций в системе координат (α, β) к трехфазным управляющим воздействиям, поступающим на ПЧ,

$$u_{sa} = \sqrt{\frac{3}{2}} u_{s\alpha}; \quad u_{sb} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(-\frac{1}{2} u_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{s\beta} \right);$$

$$u_{sc} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(-\frac{1}{2} u_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} u_{s\beta} \right).$$

2. Синтез системы векторного управления. Далее рассмотрим процедуру синтеза законов векторного управления АДКЗ. В соответствии с методом АКАР критерии управления принято выражать в виде соответствующих инвариантов – аттракторов, на которых обеспечиваются заданные технологические задачи [3, 4]. Процедура синтеза, таким образом, сводится к нахождению базовых законов управления, при которых указанные инварианты выполняются. В соответствии с требованиями к системам управления АЭП, выделяют технологические и электромагнитные инварианты. В данном случае технологический инвариант представляет собой стабилизацию скорости вращения вала:

$$\Phi_1 = \omega_r - \omega_{r0}; \tag{2}$$

а электромагнитный – обеспечение постоянства потокосцепления ротора:

$$\Phi_2 = \psi_r - \psi_{r0}; \tag{3}$$

Следовательно, задача синергетического синтеза регулятора представляет собой необходимость синтезировать векторный закон управления, обеспечивающий перевод изображающей точки (ИТ) системы из произвольных начальных условий в допустимую область изменения физических координат АЭП в заданное состояние, определяемое технологическим и электромагнитным инвариантами. При этом синтезируемая система должна быть асимптотически устойчива, инвариантна к внешним возмущениям, а также обладать свойствами параметрической робастности.

Так как АЭП подвержен действию внешних возмущений $M_c(t)$, необходимо, чтобы синтезируемый закон векторного управления обеспечивал их подавление. В соответствии с методом АКАР [1, 2] и методами синтеза систем управления ЭМС [3–5] влияние внешних возмущений учитывается с помощью расширения математической модели исходной системы. Для этого вводятся дополнительные переменные Z_1 и Z_2 , которые являются оценкой внешних возмущений. Тогда можно записать математическую модель АЭП (1) в расширенном виде:

$$\begin{aligned}
\frac{dz_1}{dt} &= \eta_1 (\omega_r - \omega_{r0}); \\
\frac{dz_2}{dt} &= \eta_2 (\psi_r - \psi_{r0}); \\
\frac{d\theta_r}{dt} &= \omega_r; \quad J \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{m}{3} p k_r \psi_r i_{sy} - z_1; \\
\frac{d\psi_r}{dt} &= r_r k_r i_{sx} - \frac{1}{T_r} \psi_r - z_2; \\
\frac{di_{sy}}{dt} &= -\frac{1}{T_s^*} i_{sy} - \omega_r i_{sx} - \frac{k_r}{L_s^*} \omega_r \psi_r + \frac{1}{L_s^*} u_{sy}; \\
\frac{di_{sx}}{dt} &= -\frac{1}{T_s^*} i_{sx} + \omega_r i_{sy} + \frac{k_r}{T_r L_s^*} \psi_r + \frac{1}{L_s^*} u_{sx}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Уравнения (4) представляют собой так называемую «моделью синергетического синтеза». Тогда для синтеза законов управления введем первую пару макропеременных

$$\psi_1 = i_{sx} - \phi_1; \quad \psi_2 = i_{sy} - \phi_2, \tag{5}$$

удовлетворяющую системе функциональных дифференциальных уравнений

$$T_1 \frac{d\psi_1}{dt} + \psi_1 = 0; \quad T_2 \frac{d\psi_2}{dt} + \psi_2 = 0. \tag{6}$$

Параметры T_1 и T_2 , определяющие время попадания ИТ на пересечение многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$, выбираются из условия обеспечения асимптотической устойчивости системы (6), т.е. $T_1, T_2 > 0$. Из совместного решения систем уравнений (5) и (6), с учетом модели синтеза (4), получаем выражения для базового векторного закона управления:

$$\begin{aligned}
u_{sx} &= L_s^* \left[\frac{1 - \lambda_1 T_s^*}{T_s^*} i_{sx} + \frac{d\phi_1}{dt} + \lambda_1 \phi_1 + \omega_\psi i_{sy} - \frac{k_r}{T_r L_s^*} \psi_r \right]; \\
u_{sy} &= L_s^* \left[\frac{1 - \lambda_2 T_s^*}{T_s^*} i_{sy} + \frac{d\phi_2}{dt} + \lambda_2 \phi_2 - \omega_\psi i_{sx} + \frac{k_r}{L_s^*} \omega_r \psi_r \right].
\end{aligned} \tag{7}$$

При попадании ИТ системы в окрестность пересечения многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$ в замкнутой системе (4), (7) происходит динамическая декомпозиция, а ее поведение будет описываться редуцированной системой дифференциальных уравнений пониженного порядка:

$$\begin{aligned}
 \frac{dz_1}{dt} &= \eta_1(\omega_r - \omega_{r0}); \\
 \frac{dz_2}{dt} &= \eta_2(\psi_r - \psi_{r0}); \\
 \frac{d\theta_r}{dt} &= \omega_r; \\
 J \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{m}{3} pk_r \psi_r \varphi_2 - z_1; \\
 \frac{d\psi_r}{dt} &= r_r k_r \varphi_1 - \frac{1}{T_r} \psi_r - z_2.
 \end{aligned} \tag{8}$$

На основе модели (8) производится синтез «внутренних» законов векторного управления φ_1 и φ_2 для регулируемого АЭП.

Для стабилизации скорости вращения вала АЭП используются инварианты Φ_1 и Φ_2 , и вводится вторая совокупность макропеременных:

$$\begin{aligned}
 \psi_3 &= \beta_{11}(\omega_r + \gamma_1 z_1) + \beta_{12}(\psi_r + \gamma_2 z_2); \\
 \psi_4 &= \beta_{21}(\omega_r + \gamma_1 z_1) + \beta_{22}(\psi_r + \gamma_2 z_2),
 \end{aligned} \tag{9}$$

удовлетворяющая системе функциональных уравнений

$$T_3 \frac{d\psi_3}{dt} + \psi_3 = 0; \quad T_4 \frac{d\psi_4}{dt} + \psi_4 = 0, \tag{10}$$

где $T_3, T_4 > 0$. При совместном решении уравнений (9), (10) в силу декомпозированной модели (8) получаем выражения для «внутренних» управлений в задаче стабилизации скорости вращения:

$$\varphi_1 = \frac{1}{r_r k_r} \left[\frac{\psi_r}{T_r} + \gamma_2 \eta_2 (\psi_{r0} - \psi_r) + K_4 \left(\omega_r + \gamma_1 \eta_1 \int (\omega_r - \omega_{r0}) dt \right) + \right. \\
 \left. + K_2 \psi_r + (1 + K_2 \gamma_2) \eta_2 \int (\psi_r - \psi_{r0}) dt \right]; \tag{11}$$

$$\varphi_2 = \frac{2J}{mpk_r \psi_r} \left[\gamma_1 \eta_1 (\omega_r - \omega_{r0}) + K_3 \left(\psi_r - \gamma_2 \eta_2 \int (\psi_r - \psi_{r0}) dt \right) + \right. \\
 \left. + K_1 \omega_r + (1 + K_1 \gamma_1) \eta_1 \int (\omega_r - \omega_{r0}) dt \right],$$

$$\text{где } K_1 = \frac{\beta_{11} \beta_{22} \lambda_3 - \beta_{21} \beta_{12} \lambda_4}{\beta_{12} \beta_{21} - \beta_{11} \beta_{22}}; \quad K_2 = \frac{\beta_{11} \beta_{22} \lambda_4 - \beta_{21} \beta_{12} \lambda_3}{\beta_{12} \beta_{21} - \beta_{11} \beta_{22}};$$

$$K_3 = \frac{\beta_{12} \beta_{22} (\lambda_3 - \lambda_4)}{\beta_{12} \beta_{21} - \beta_{11} \beta_{22}}; \quad K_4 = \frac{\beta_{11} \beta_{21} (\lambda_4 - \lambda_3)}{\beta_{12} \beta_{21} - \beta_{11} \beta_{22}}.$$

С учетом (11) производные от внутренних управлений имеют вид:

$$\begin{aligned}
\frac{d\varphi_1}{dt} &= \frac{1}{r_r k_r} \left[\left(\frac{1}{T_r} - \gamma_2 \eta_2 + K_2 \right) \left(r_r k_r i_{sx} - \frac{\psi_r}{T_r} - \eta_2 \int (\psi_r - \psi_{r0}) dt \right) + \right. \\
&+ (K_2 + K_4) \gamma_1 \eta_1 (\omega_r - \omega_{r0}) + \eta_2 (\psi_r - \psi_{r0}) + K_4 \left(\frac{m}{2J} p k_r \psi_r i_{sy} - \eta_1 \int (\omega_r - \omega_{r0}) dt \right) \left. \right]; \\
\frac{d\varphi_2}{dt} &= -\frac{2J}{m p k_r \psi_r} \left(r_r k_r i_{sx} - \frac{\psi_r}{T_r} - \eta_2 \int (\psi_r - \psi_{r0}) dt \right) \left[\eta_1 (\omega_r - \omega_{r0}) (1 - K_2 \gamma_2) + \right. \\
&+ \left. \left(\frac{m}{2J} p k_r \psi_r i_{sy} - \eta_1 \int (\omega_r - \omega_{r0}) dt (\eta_1 \gamma_1 + K_2) \right) + \right. \\
&\left. K_4 \left(r_r k_r i_{sx} - \frac{\psi_r}{T_r} - \eta_2 \int (\psi_r - \psi_{r0}) dt - \eta_2 \gamma_2 (\psi_r - \psi_{r0}) \right) \right].
\end{aligned} \tag{12}$$

Выражения (7), (11), (12) представляют собой искомый закон управления АДКЗ, обеспечивающий выполнение требуемых инвариантов: стабилизация скорости вращения вала АЭП и обеспечение постоянства потокосцепления ротора.

3. Результаты моделирования. Приведем некоторые результаты моделирования синтезированной системы управления АЭП. В системе координат (α, β) , неподвижной относительно статора электропривода, осуществляется построение наблюдателя состояния вектора потокосцепления ротора. На рис. 2 и 3 представлены графики наблюдателя и эталонного значения составляющих вектора потокосцепления ротора $\psi_{r\alpha}$ и $\psi_{r\beta}$. Моделирование проводилось при следующих параметрах АЭП: $r_s = 0,03$ Ом; $r_r = 0,0172$ Ом; $L_m = 0,0154$ Гн; $L_s = L_r = 0,0158$ Гн; $J = 0,968$ Н·м·с²; $m = 3$; $p = 2$ и регулятора $\lambda_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_s} = 500$;

$\lambda_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_s} = 500$; $\lambda_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{J} = 1,03$; $\lambda_4 = \frac{1}{T_4} = \frac{1}{T_r} = 1,08$; $\psi_{r0} = 0,987$ Вб; $\omega_{r0} = 150$ рад/с; $\gamma_1 = \gamma_2 = 2$; $\eta_1 = 500\lambda_3$; $\eta_2 = 500\lambda_4$; $\beta_{11} = 1$; $\beta_{12} = 2$; $\beta_{21} = 3$; $\beta_{22} = 4$. На рис. 2 и 3 обозначены: I – эталонное значение вектора, II – наблюдатель.

На рис. 4–7 представлены переходные процессы относительно координат и управляющих воздействий АЭП во вращающейся системе координат, ориентированной по направлению вектора потокосцепления ротора. При моделировании системы (4), (7), (11), (12) изменение момента сопротивления на валу АЭП определялось следующей закономерностью:

$$M_c = \mu \omega_r + M_{c0},$$

где $\mu = 0,5$ Н·м·с/рад;

$$M_{c0} = \begin{cases} 0 \text{ Нм,} & \text{при } t < 2; \\ 400 \text{ Нм,} & \text{при } 2 \leq t < 4; \\ 200 \text{ Нм,} & \text{при } t \geq 4. \end{cases}$$

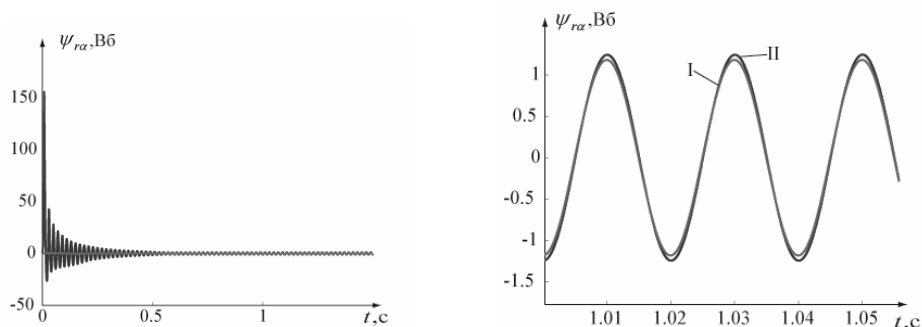


Рис. 2. Наблюдатель составляющей вектора потокосцепления ротора $\Psi_{r\alpha}$

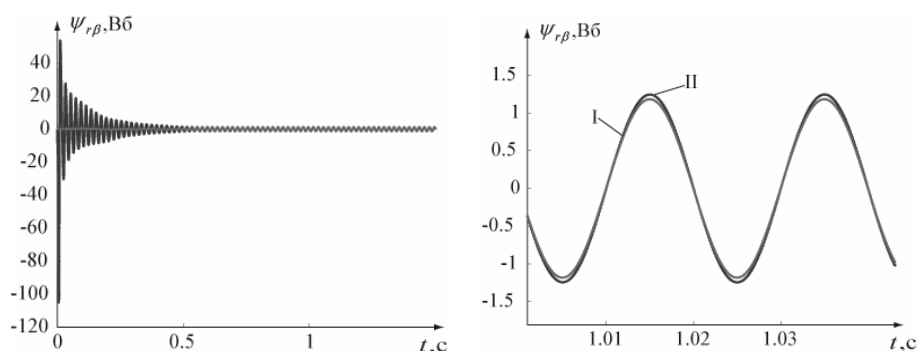


Рис. 3. Наблюдатель составляющей вектора потокосцепления ротора $\Psi_{r\beta}$

Из результатов моделирования видно, что синтезированная система обрабатывает задания по скорости вращения вала и потокосцеплению ротора АЭП при различных значениях возмущающего воздействия. На рис. 5 показано, что при изменении величины момента сопротивления векторный регулятор подавляет данное возмущение согласованно по двум каналам, в отличие от системы «Трансвектор», в которой осуществляется искусственное развязывание каналов управления и исключаются взаимовлияния. Тем самым при синергетическом управлении расширяется динамический диапазон нагрузок, при которых замкнутая система с векторным нелинейным регулятором (7), (11), (12) выполняет требуемое технологическое задание $\omega_r = \omega_{r0}$.

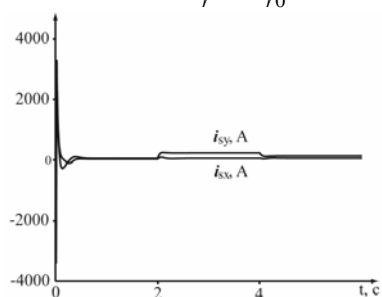


Рис. 4. Переходные процессы относительно проекций токов статора

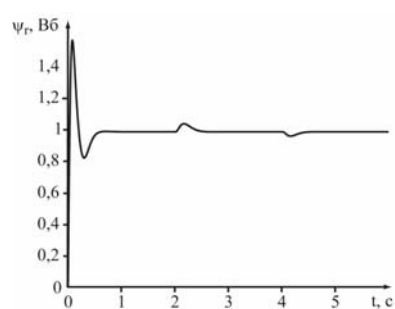


Рис. 5. Переходный процесс относительно потокосцепления ротора

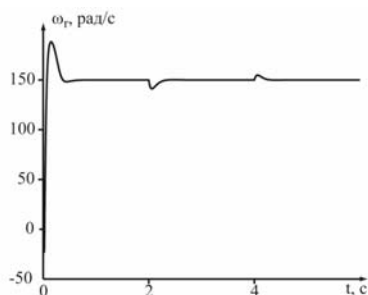


Рис. 6. Переходный процесс относительно скорости вращения ротора

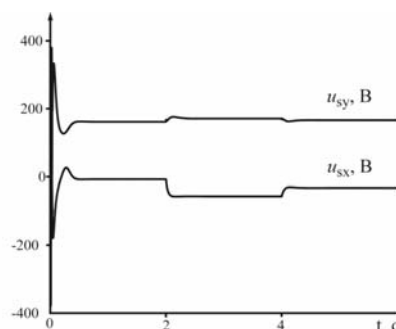


Рис. 7. Переходные процессы относительно управляющих воздействий

Заключение. Применение синергетической теории управления позволяет осуществить синтез векторной системы управления АЭП с использованием наиболее полной математической модели АД. В связи с тем, что в основе синергетического подхода лежит принцип асимптотического перехода от одного инвариантного многообразия к другому с последовательным понижением размерности многообразия, полученная система обладает рядом преимуществ, по сравнению с традиционной. Это, в первую очередь, асимптотическая устойчивость синтезированной системы во всей области изменения координат, во-вторых, инвариантность системы к действию внешних возмущающих воздействий, и, в-третьих, грубость переходных процессов системы к флуктуации погрешностей в объекте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Колесников А.А. Синергетическая концепция теории управления: концепции, методы, тенденции развития // Известия ТРТУ. – 2001. – № 5 (23). – С.7-27.
3. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н. Синергетическое управление нелинейными электроприводами. I. Концептуальные основы синергетического синтеза систем // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 6. – С. 8-15.
4. Колесников А.А., Веселов Г.Е. Синергетическое управление нелинейными электроприводами III. Векторное управление асинхронными электроприводами // Известия вузов. Электромеханика. – 2006. – № 2. – С. 25-36.
5. Веселов Г.Е. Колесников А.А. Аналитическое конструирование векторных законов управления асинхронными электроприводами // Известия ТРТУ. – 1999. – № 2 (12). – С. 58.
6. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Л. Заковоротный.

Радионов Иван Алексеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: radionov87@gmail.com.

347900, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, к. 403.

Тел.: 88634360707.

Кафедра синергетики и процессов управления; аспирант.

Radionov Ivan Alekseevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: radionov87@gmail.com.

2, Chehov Street, Ap. 403, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +78634360707.

The Department of Synergetics and Control; Postgraduate Student.

УДК 681.5.017:66.08.012-52

С.Е. Абрамкин, С.Е. Душин, Н.Н. Кузьмин

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМЫХ МАССО-
И ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
КОМПЛЕКСЕ СИСТЕМ «АБСОРБЦИЯ-ДЕСОРБЦИЯ»**

Приведены основные ограничения и допущения, положенные в основу получения математических моделей систем «Абсорбция» и «Десорбция». Разработаны нелинейные динамические модели взаимосвязанных управляемых массообменных и теплообменных процессов замкнутого технологического комплекса систем «АБСОРБЦИЯ-ДЕСОРБЦИЯ». Компьютерное моделирование проводилось с использованием программного средства MATLAB/Simulink. Особое внимание уделено получению математических моделей подсистем «Выпаривание» и «Воздушное охлаждение».

Математическая модель; структурная схема; природный газ; абсорбция; десорбция; массообмен; теплообмен; управляемый процесс.

S.E. Abramkin, S.E. Dushin, N.N. Kuzmin

**MATHEMATICAL MODELS OF CONTROLLED MASS- AND HEAT
EXCHANGE PROCESSES IN TECHNOLOGIC COMPLEX OF SYSTEMS
«ABSORPTION-DESORPTION»**

Paper shows the results of analysis of the gas dewatering process. The basic restrictions and the assumptions taken as a principle of reception of mathematical models of systems absorption and desorption are presented. Nonlinear dynamic models interconnected controlled mass and heat exchange processes of the closed technological complex of the systems «ABSORPTION-DESORPTION» are developed. Computer modeling was carried out with use of software MATLAB/Simulink. The special attention is given reception of mathematical models of subsystems «Evaporation» and «Air cooling».

Mathematical model; structure scheme; natural gas; absorption; desorption; mass exchange; heat exchange; controlled process.

В настоящее время газовая промышленность составляет значительную часть российской экономики. Необходимость удовлетворения как внутреннего, так и внешнего спроса на газ определяет актуальность проблем управления процессами в добыче, подготовке и транспортировке газа. В программах ОАО «Газпром» декларируется переход к малолюдным технологиям. Такой переход может быть осуществлен в результате разработки современных автоматических систем управления процессами добычи, подготовки и транспортировки природного газа. В рамках данного направления развития газовой отрасли проводится реконструкция технологических аппаратов и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами на газовых промыслах. Проведение данных работ определено высокими требованиями к качеству подготовки природного газа для его