

Программные наработки на данном этапе позволяют провести все этапы нечеткого вывода, что позволит при дополнительных доработках проводить эксперименты на реальных данных, оценивать эффективность работы системы.

Подводя итоги можно заключить, что по результатам применения построенной модели к реальной финансовой статистике были получены результаты, близко коррелирующие с реальным состоянием предприятия. Таким образом, на данном этапе исследования выбранный подход подтвердил свою состоятельность и результативность.

Проанализировав экономические показатели за несколько периодов, можно оценить экономическую перспективность предприятия и его стабильность. Это наиболее цельно характеризует предприятие, имеет большую практическую ценность как инструмент поддержки принятия решений высшего руководства.

Литература

1. (<http://www.managment.aaanet.ru/infor/4.php>) - Тенденции развития информационных технологий, Кафедра теории и технологии менеджмента ЮФУ
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
3. Измайлова К.В. Фінансовий аналіз: Навч. посіб. – К.: МАУП, 2000. – 152с.:іл. – Бібліогр.: с. 142-144.

УДК [636.085.55:678.027.3]:005

ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСТРУДИРОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Хобин В.А., д-р техн. наук, профессор, Егоров В.Б., аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассматривается решение комплекса задач получения и реализации в имитационной форме математической модели процесса экструдирования биополимеров как объекта управления. Специфика решения – невозможность аналитического описания процесса и его полного экспериментального исследования.

The decision of a complex of tasks of reception and realization in the simulation form of mathematical model of biopolymers extrusion process as control object is considered. Specificity of the decision – the impossibility of the analytical description of process and its full experimental research.

Ключевые слова: экструдирование, биополимеры, объект управления, идентификация, имитационная модель, тестирование.

Постановка задачи. Существующие штатные системы автоматического управления (САУ) процессом экструдирования биополимеров (ЭБП), реализуют, как правило, только функцию регулирования (стабилизации) тока нагрузки приводного электродвигателя (ПЭД) экструдера и температуру его головки (матрицы), см., например, [1]. Практика показывает, что они не могут обеспечить устойчивое функционирование экструдера в энергетически эффективных режимах и, одновременно, высокие показатели качества готового продукта. Главные причины этого – динамично изменяющиеся характеристики компонентов сырья, их состав в рецептуре производимых продуктов, износ рабочих органов, колебания напряжения питающей сети, наличие ограничений, накладываемых регламентом ведения процесса ЭБП на диапазоны изменения его параметров [2]. Это обуславливает актуальность задачи совершенствования САУ ЭБП. В основу такого совершенствования должны быть положены современные достижения в теории автоматического управления, информационных технологиях и программно-техническом обеспечении систем автоматизации. Их применение должно позволить повысить качество реализации «старой» функции – функции регулирования и реализовать новые – функцию измерения в реальном времени некоторых параметров готового продукта на выходе из экструзионной головки, функцию гарантирования и функцию оптимизации режима ЭБП [3].

Провести разработку САУ с такими свойствами возможно только с применением адекватных математических моделей (ММ). В [4] была обоснована концептуальная модель процесса ЭБП как объекта управления (ОУ). При этом подчеркивалось, что она является первым этапом разработки такой ММ. Ее

главная цель – составить объективную основу разработки эффективной САУ процессом. Развитие концептуальной модели предполагает математическое описание свойств каналов управления и действующих возмущений, а также взаимосвязей между ними. Особенно важна такая ММ для разработки тех подсистем САУ, динамика работы которых соответствует (определяется) динамикой процесса ЭБП. Работа именно этих подсистем будет определять такие фундаментальные свойства САУ как устойчивость, точность, и, следовательно, в конечном итоге – ее достижимую эффективность.

Принципиально важным для адекватности и конструктивности является выбор метода получения ММ. В [5], судя по названию работы, предпринималась попытка решить такую задачу на основе аналитических методов. Однако, название работы плохо отражает ее фактическое содержание, т.к. полученные модели являются моделями статики с большим количеством допущений и для частного случая. Конструктивно использовать их для разработки САУ ЭБП невозможно. Возьмем на себя ответственность утверждать, что более или менее корректно описать динамические свойства указанных каналов ОУ возможно только на основе экспериментальных методов.

Анализ и синтез САУ с нестационарными и нелинейными объектами, с функционально и структурно сложными алгоритмами управления не могут быть реализованы на основе аналитических (классических) методов без самого существенного упрощения задачи. Признанная альтернатива таким методам – компьютерное имитационное моделирование, т.е. – машинные эксперименты с имитационными моделями САУ. Поэтому разрабатываемая ММ процесса ЭБП должна быть доведена до ее реализации в среде имитационного моделирования.

Проблемы идентификации и обоснование технологии их преодоления. Проблемы идентификации ММ процесса ЭБП, т.е. получение математического описания процессов по результатам его целенаправленных экспериментальных исследований, обусловлены его сложностью как ОУ. Причины сложностей подробно рассмотрены в [2, 4]. Они, как уже отмечалось ранее, делают малопродуктивным и аналитический подход к получению моделей.

Экспериментальный подход, в данном случае, хотя и дает гораздо более достоверные результаты о свойствах процесса, но они отражают лишь частные случаи общих свойств, которыми обладает процесс ЭБП как ОУ. Попытка получения таких общих свойств на основе экспериментальных данных неизбежно привела бы к необходимости проведения весьма сложных и длительных многофакторных экспериментов, нетривиальных процедур их обработки [6], проблемам совместимости результатов, полученных с различными интервалами во времени. Но даже проведение таких экспериментов, к сожалению, оставит открытым вопрос об адекватности модели для тех условий ведения процесса и видов сырья, которые не были ими охвачены.

Принципиально важен тот факт, что ММ процесса ЭБП разрабатывается как модель ОУ. Такая модель, в общем случае, может использоваться двояко. Во-первых, для разработки САУ, например, с использованием процедур имитационного моделирования, где на первое место выходит решение задач устойчивости и динамической точности замкнутых контуров управления. Во-вторых, для использования непосредственно в процессе управления, т.е. для расчета тех или иных управляющих воздействий по модели в разомкнутых цепях САУ.

Очевидно, что второе направление применения требует достаточно точных моделей. Но, уже на этапе разработки концепции управления процессами ЭБП и вариантов структурных схем САУ, от такого применения моделей отказались. Первое направление применения моделей не ставит таких жестких требований к ним. Это обуславливается тем, что в замкнутых контурах САУ несоответствия моделей можно рассматривать как проявление неконтролируемых координатных и параметрических возмущений. Именно в условиях такого рода возмущений САУ и должна выполнять свое функциональное назначение.

Разрабатываемая ММ процесса ЭБП будет применяться нами только по первому направлению, когда большую значимость имеют не столько количественное, сколько качественное ее соответствие объекту-оригиналу. Учитывая это, целесообразно отказаться от подходов, ориентированных только на формализованные технологии получения требуемых моделей. Более эффективным в такой ситуации, на наш взгляд, будет системный подход, [7], сочетающий в себе и формализованные и неформализованные технологии, и который может быть назван экспериментально-эвристическим. Он призван объединить объективные знания о характеристиках процесса, получаемые в ходе натуральных экспериментов, с субъективными знаниями (пониманием) разработчиком сущности протекающих процессов, в частности – физические достижимых диапазонов изменения основных переменных.

Выбор такого подхода связан с надеждой получить физически обоснованную и качественно адекватную модель процесса ЭБП как ОУ на основе ограниченного количества экспериментов. Эвристическая составляющая подхода включает понимание сущности преобразования энергии при ее подводе к экструдруемому материалу от нагревателей, при совершении над материалом механической работы в разных частях экструдера, влияния на характеристики этих преобразований свойств этого материала, в частно-

сти, его влажности, а также других факторов – напряжения питающей сети, сечения канала истечения материала через головку экструдера и т.д. Эта составляющая должна определить внутреннюю структуру модели (взаимосвязи между переменными) и обеспечить согласование эвристических и экспериментальных знаний. Здесь, прежде всего, имеются в виду проблемы выбора значений коэффициентов модели. Формально эту задачу можно было бы свести к задаче параметрической оптимизации. Но очень большое количество этих коэффициентов (аргументов оптимизации), их значительная взаимосвязь (взаимозависимость), ограниченность экспериментальных данных делает такую задачу некорректной. Поэтому проблема выбора значений коэффициентов сводится к субъективной процедуре, основу которой составили интерактивные машинные эксперименты с настраиваемой моделью.

Результаты экспериментальных исследований процессов ЭБП и идентификации моделей его отдельных компонентов. Все экспериментальные исследования процессов ЭБП проводились на экструдере E-150 [8] в рамках разработанного автоматизированного рабочего места (АРМ) исследователя [9].

1). Вибропитатель, как автономное устройство экструдера, был исследован по каналу « $u_n - Q_o$ », [4], для двух видов продуктов – пшеницы и сои. По результатам экспериментов были сделаны следующие выводы: а) вибропитатель, как динамическое звено общей системы можно считать практически безынерционным; б) вибропитатель имеет существенную зону нечувствительности, $u_n^{zn} \approx 10\%$ у.в., которую можно принять одинаковой для различных видов продукта; в) рабочий диапазон управляющих воздействий вибропитателя не превышает 15...20% u_n , в абсолютных единицах он составляет 10...(25...30)% u_n ; г) изменение объемной производительности в функции u_n имеет квадратичный характер.

Фрагмент результатов исследований питателя и идентификации моделей его статических свойств (характеристик) приведены на рис. 1.

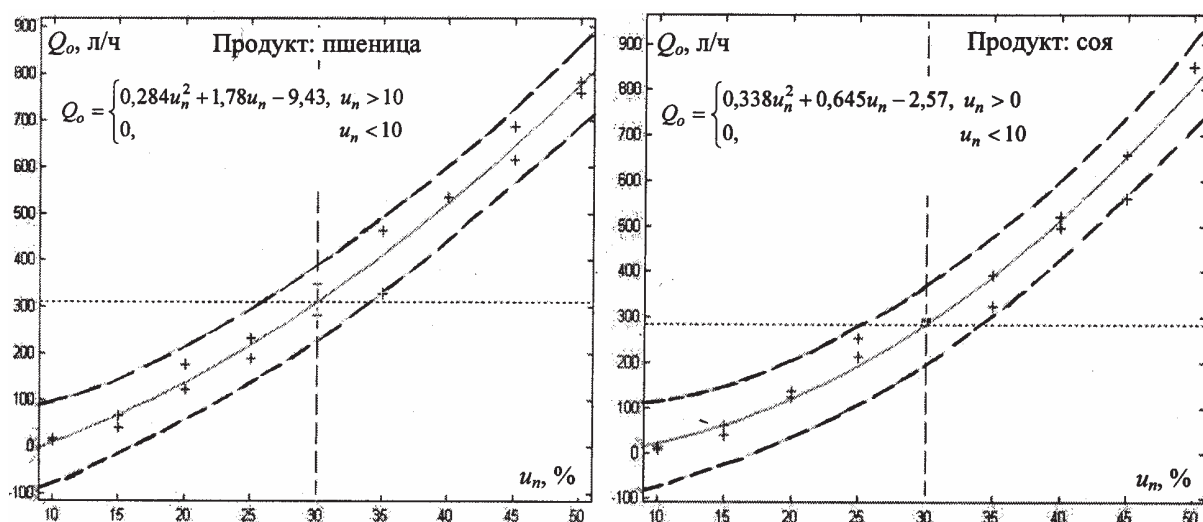


Рис. 1 – Статические характеристики вибропитателя экструдера типа E-150 для различных продуктов и его модели

2). Предварительные экспериментальные исследования динамики изменения регулируемых переменных подтвердили существенное различие в динамике прямых и перекрестных каналов управления, связанных с изменением тока ПЭД и температур экструдата во всех зонах. Это, в определенной мере, упростило задачи исследований, т.к. позволило изучать динамику этих каналов как относительно независимых. На рис. 2а представлен фрагмент результатов экспериментов по исследованию динамических свойств канала « $u_n - I_{ПЭД}$ », и пример процедуры идентификации его типовой модели динамики второго порядка с запаздыванием с применением методики «двух общих точек» Митининой. На рис. 2б представлен фрагмент результатов экспериментов по исследованию динамических свойств прямых и перекрестных каналов управления температурными режимами прессования и экструдирования, а также пример процедуры и результатов параметрической идентификации типовых моделей первого порядка с запаздыванием по результатам этих экспериментов.

Принципиально важно, что процесс нагрева зон прессования и головки экструдера ТЭНами является процессом с распределенными параметрами. Для упрощения получения его ММ целесообразно перейти от модели с распределенными параметрами к ячеейной модели. Ячейки, параметры которых будем считать сосредоточенными, взяты в соответствии с конструктивными особенностями экструдера. Их четыре: три зоны, где расположены ТЭНа и головка экструдера. Все они имеют датчики температуры. Подчерк-

нем, что эти датчики измеряют температуру не продукта, а соответствующих механических конструкций. Выходными переменными моделей нагрева зон являются их температуры θ_i , $i = \overline{1;4}$, $\theta_4 \equiv \theta_r$, а входными переменными являются управляющие воздействия на ТЭНы – u_{ni} , $i = \overline{1;3}$, температуры «предыдущих» и «последующих зон» θ_{i-1} , θ_{i+1} , температура окружающей среды θ_{oc} , и переменные, изменяющие θ_i за счет изменения температуры продукта T_{nprod_i} , обозначенные на схеме имитационного моделирования (см. следующий раздел статьи) как $+dT_i$ и $-dT_i$. В единую модель отдельные модели ячеек (зон) объединяют перекрестные связи, описывающие процессы теплообмена между зонами. Отметим, что переменные T_{nprod_i} и $\pm dT_i$ в реальных условиях измерены быть не могут, поэтому эти переменные присутствуют в явном виде (как и их обозначения) только в имитационной модели процесса. Модель каждой ячейки (зоны) учитывает изменение ее температуры не только за счет подвода тепловой энергии от ТЭНа, но и за счет теплообмена с экструдруемым продуктом, который может, как повышать, так и понижать температуру зоны, а также теплообмен с окружающей средой.

Процесс движения экструдруемого материала вдоль оси экструдера также является процессом с распределенными параметрами (по координате перемещения). Он также описывается нами ячеистой моделью аналогичной структуры. Входными переменными этих моделей являются: температура окружающей среды – θ_{oc} (Temp_okr_sg); температура нагрева зон экструдера – θ_i (Temp_i); влажность продукта (сырья) на входе в экструдер – W ; расход продукта (производительность питателя) – Q_o ; время перемещения продукта до первой зоны, время пребывания продукта в каждой из зон – τ_{zone_i} . В единую модель отдельные модели ячеек, т.е. модели движения продукта в i -тых зонах объединяют: а) последовательные связи по температурам продукта в зонах T_{nprod_i} ; б) параллельные связи по «затратам» относительного момента вращения на валу ПЭД – dM_i ; в) обратные связи по $\pm dT_i$, замыкающиеся через соответствующие модели нагрева i -тых зон. Выходными переменными моделей движения продукта по зонам являются: температуры продукта на выходе каждой зоны T_{nprod_i} ; относительный момент сопротивления dM_i , приведенный к валу ПЭД и связанный с совершением работы по деформации и перемещению продукта; переменные $+dT_i$, изменяющие θ_i за счет изменения температуры продукта T_{nprod_i} . Модель каждой ячейки учитывает время пребывания продукта в каждой зоне, затраты механической энергии на нагрев продукта, источником которой является ПЭД экструдера, и которая переходит в тепло за счет внутреннего трения в продукте при его деформации и внешнего трения продукта о цилиндрические стенки и винтовую поверхность шнека, в т.ч. при изменении его расхода и влажности. Подчеркнем следующие особенности этих моделей: а) выходные переменные моделей на реальном экструдере физически не измеряются (это уже отмечалось ранее), т.к. это либо представляет собой значительные технические трудности, либо принципиально невозможно; б) в силу п. «а» эти переменные не могут непосредственно быть использованы в процедурах идентификации моделей и/или проверки их адекватности.

3). Изменения регулируемых переменных при неизменных управляющих воздействиях отражают влияние на эти переменные неконтролируемых возмущений. Результаты исследования динамики изменения тока нагрузки ПЭД экструдера Е-150 при фиксированных режимах работы (т.е. при неизменных свойствах сырья и неизменных значениях управляющих воздействий) позволяют сделать следующие выводы: а) такие режимы не могут быть длительными, т.к. в силу неизбежного действия возмущений экструдер выходит на недопустимые режимы работы; б) переменная $I_{ПЭД}(t)$ имеет составляющую случайного характера, но, по крайней мере, для интервалов времени, где фиксированные режимы возможны, они не обладают статистической устойчивостью.

Все это предопределяет невозможность и низкую степень полезности регистрации в таких режимах изменения температур в зонах прессования и экструдирования с целью получения моделей возмущений этих переменных. Вместе с тем, разработка САУ с применением методов имитационного моделирования требует воспроизведения имитационных моделей неконтролируемых возмущений. Отказавшись от неконструктивного пути их экспериментальных исследований, нами были сформулированы определенные принципы формирования моделей таких возмущений и их некоторые свойства, которые позволят корректно решать задачу последующих этапов разработки САУ процессами ЭБП: а) возмущения должны быть приведены к физически обусловленным переменным, что позволит обоснованно задать некоторые характеристики возмущений; б) характеристики моделей возмущений должны гарантировано быть не менее сложными для задач компенсации последствий возмущений, чем характеристики реальных возмущений; в) в соответствии с требованиями «б» принято, что модели возмущений должны включать в себя составляющие различных частот, которые, в том числе – случайные, во взаимосочетании, будут воспроизводить (моделировать) «неблагоприятные» и «благоприятные» условия ведения процесса.

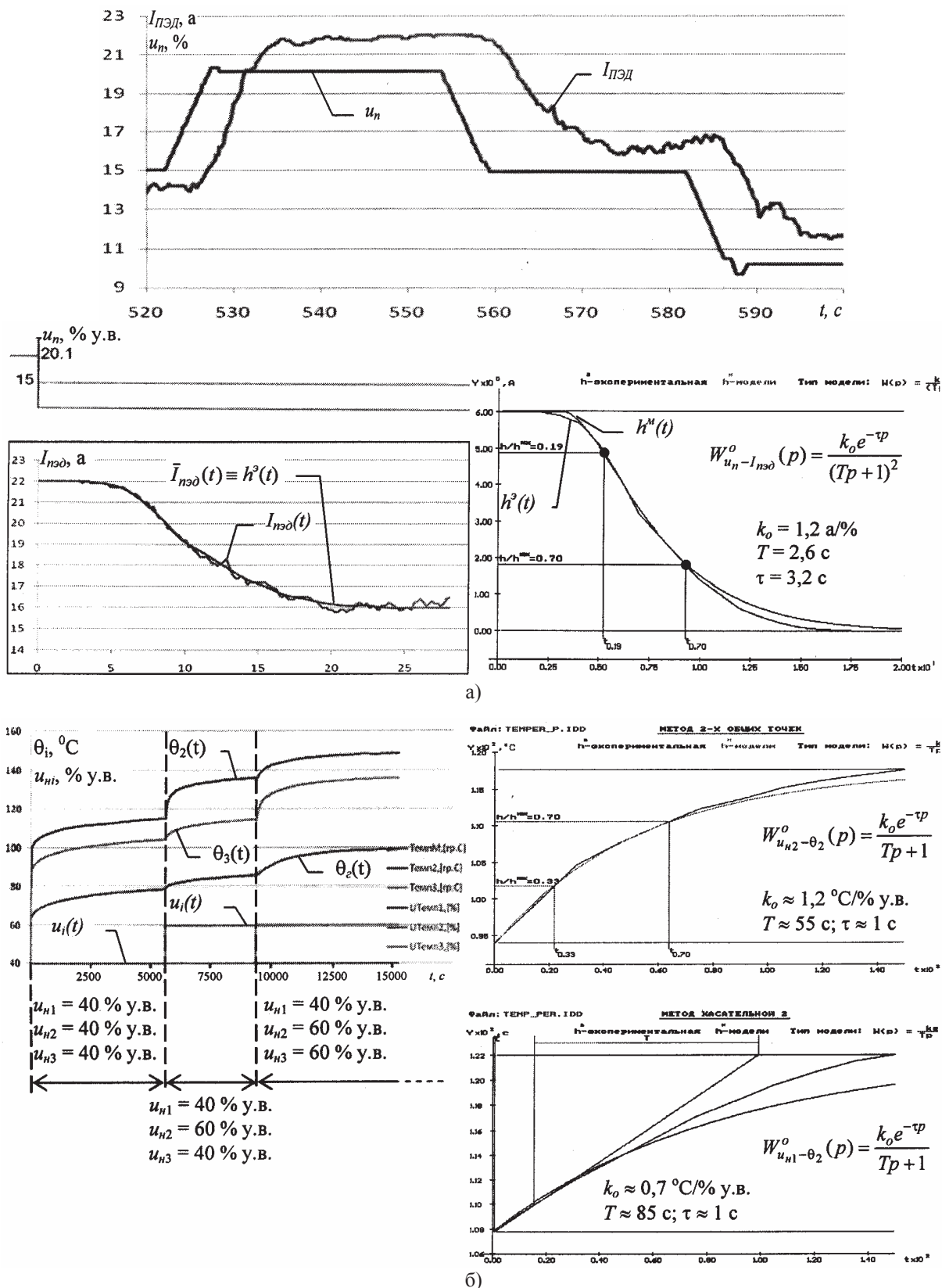


Рис. 2 – Фрагменты результатов экспериментальных исследований динамических свойств каналов ОУ и результаты идентификации их типовых моделей: а) канал управления нагрузкой ПЭД; б) каналы управления (прямые и перекрестные) температурным режимом прессования и экструдирования

В качестве переменных, к которым приведены возмущения, были выбраны напряжение питающей сети и влажность продукта на входе в экструдер. Отметим, что изменение напряжения сети непосредственно изменяет $I_{ПЭД}$ и u_n , а влажность – силы внутреннего и внешнего трения экструдата и его теплоемкость. Для напряжения принят мультипликативный вариант приведения возмущений, а для влажности – аддитивный:

$$U_{cemu}(t) = f_{U_{cemu}}(t) U_{cemu}^{ном}; w(t) = w^{ном} + f_w(t), \quad (1)$$

где $f_{U_{cemu}} = 1 + 0,075 \sin(2\pi/3600)t + 0,05 \sin(10 \cdot 2\pi/3600)t + \tilde{f}_{U_{cemu}}(t)$,

$$f_w = 15 - \frac{10}{3600} \int_0^t \{sign \sin(2\pi/3600)\} dt + \tilde{f}_w(t).$$

Составляющие $\tilde{f}_{U_{cemu}}(t)$ и $\tilde{f}_w(t)$ генерируются в форме случайных процессов на основе генераторов квазирозового шуму с единичной дисперсией и формирующих фильтров второго порядка с передаточными функциями:

$$W_{f_{U_{cemu}}}^{\phi\phi}(p) = \frac{0,15}{(12p+1)^2}; \quad W_{f_w}^{\phi\phi}(p) = \frac{7}{400p^2 + 40p + 1}, \quad (2)$$

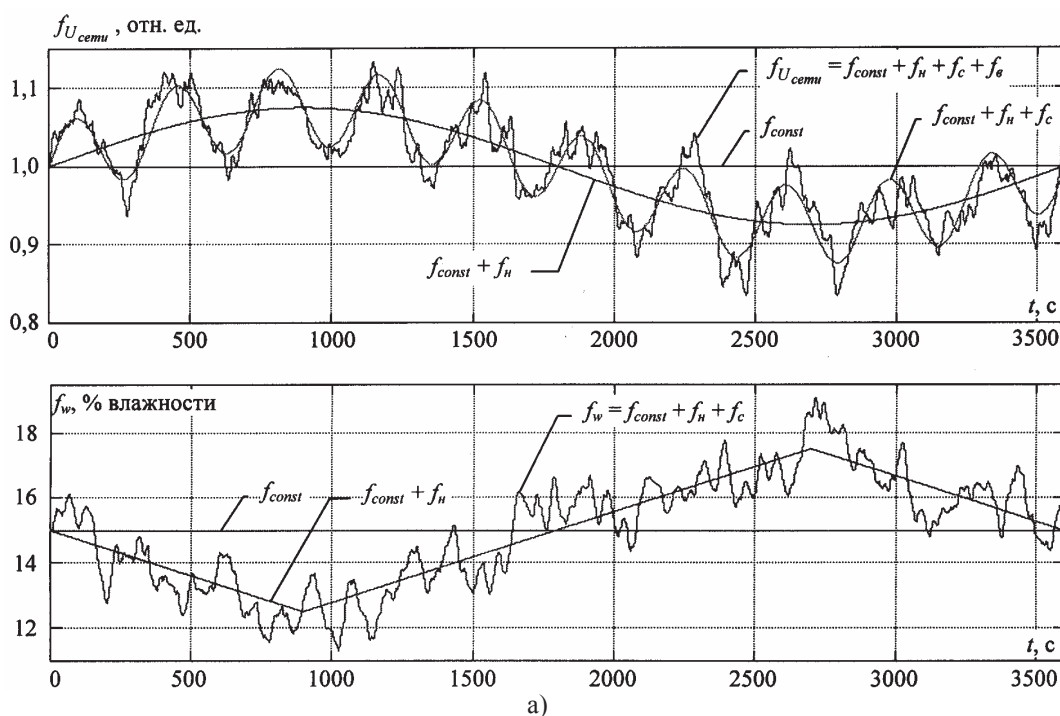
где $p \equiv d/dt$ – оператор дифференцирования.

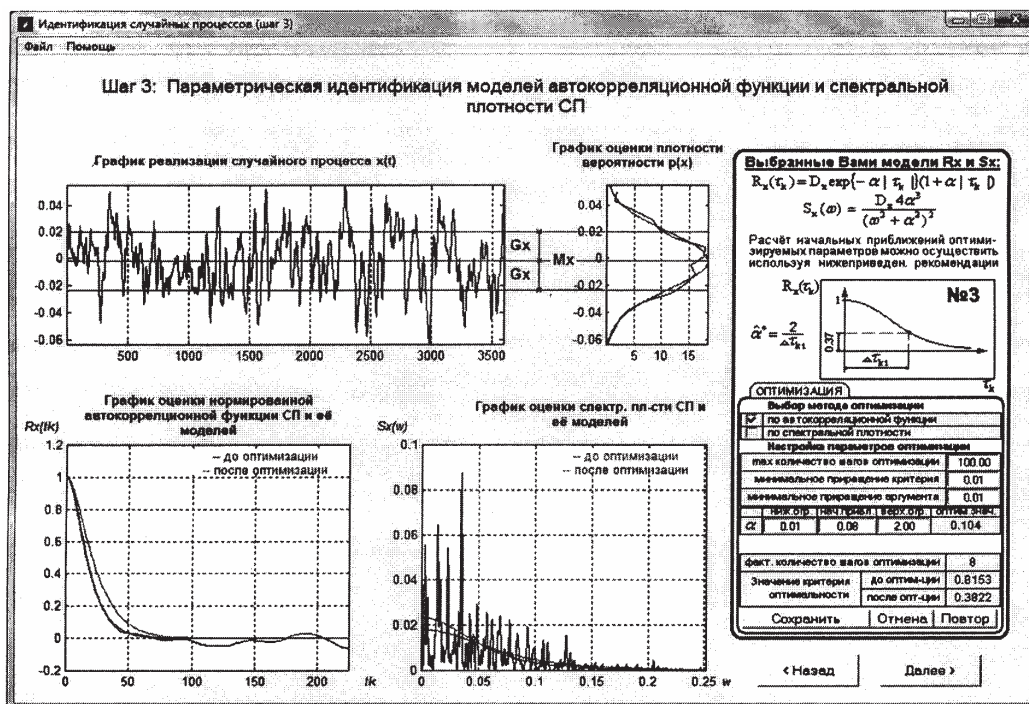
При этом заданные корреляционные функции и спектральные плотности моделей для $\tilde{f}_{U_{cemu}}(t)$ и $\tilde{f}_w(t)$ имеют вид:

$$R_f(\tau_k) = \sigma_f^2 \exp\{\alpha|\tau_k|\}(1 + \alpha|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \sigma_f^2 4\alpha^3 / (\omega^2 + \alpha^2)^2. \quad (3)$$

где параметры моделей для $\tilde{f}_{U_{cemu}}(t)$ – $\sigma_f = 0,02$; $\alpha = 0,10$ 1/с; для $\tilde{f}_w(t)$ – $\sigma_f = 0,7$ %; $\alpha = 0,6$ 1/с.

Схемы моделирования возмущений, временные диаграммы их и их составляющих, результаты оценивания случайных составляющих приведены на рис. 3.





б)

Рис. 3 – Иллюстрация свойств возмущений ОУ: а) фрагменты реализации моделей возмущений и их составляющих, приведенных к каналам изменения напряжения питающей сети и влажности экструдруемого сырья; б) пример результатов тестирования (параметрической идентификации) случайной составляющей модели

4). В качестве ММ ПЭД 4AM180M6У3 экструдера Е-150 взята модель рабочих характеристик асинхронных электродвигателей, настроенная по его номинальным характеристикам ($P_{пэд}^{ном} = 18,5$ кВт; $I_{пэд}^{ном} = 26$ А; $\cos \varphi_{пэд}^{ном} = 0,85$; $\eta_{пэд}^{ном} = 0,88$).

Реализация ММ процесса ЭБП в форме имитационной модели. В качестве среды моделирования использован специализированный пакет расширения системы MATLAB для моделирования динамических систем Simulink, [10]. Все приведенные здесь схемы имитационных моделей получены встроенными в Simulink средствами интерактивного визуального программирования, которые, одновременно, являются графическим отображением программы моделирования. Отметим, что в данной статье, все математические преобразования, осуществляемые в моделях, приведены только в форме максимально детализированных структурных схем их имитационных форм. Она, на наш взгляд, обеспечивает в данном случае лучшую наглядность представления ММ и, при необходимости, большую простоту ее воспроизведения, чем представленной в традиционной аналитической форме.

Обобщенная структурная схема полной имитационной модели процесса ЭБП, отражающая описанную выше ММ, приведена на рис. 4. Она включает в себя имитационные модели питателя, рабочих зон экструдера, включая три зоны прессования и зону экструдирования, модель ПЭД. Имитационные формы моделей возмущений, приведенных к каналам изменения напряжения питающей сети и влажности экструдруемого сырья, а также модели вибропитателя приведены на рис. 5. В имитационной форме модели вибропитателя реализованы варианты моделей его статических характеристик и, дополнительно, введены инерционные звенья, описывающие динамику заполнения продуктом, и малая константа, предотвращающая деление на «0» в математических операциях последующих блоков имитационной модели.

Примеры структурных схем имитационных моделей процессов нагрева ячеек (зон) прессования и головки экструдера ТЭНами и процессов движения экструдруемого материала через зоны вдоль оси экструдера приведены на рис 6а и 6б. Структурная схема имитационной модели ПЭД приведена на рис. 6в.

Результаты тестирования имитационной модели. Тестирование имитационной модели проводилось в форме машинных экспериментов для заданных условий ведения процесса ЭБП. Особую значимость имели такие машинные эксперименты, для которых условия их проведения совпадали с условиями проведения реальных экспериментов. Сравнение их результатов является важнейшим этапом получения заключения об адекватности модели (на качественном уровне). Приведем здесь, см. рис. 7, результаты некоторых из таких машинных экспериментов, соответствующие тем реальным, результаты которых ранее были представлены на рис. 2. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать заключение о высокой степени их соответствия, и качественного и количественного.

Это соответствие является важным, но недостаточным фактором для подтверждения адекватности модели своему объекту-оригиналу. Поэтому были предприняты всесторонние исследования имитационной модели по всем каналам управления и в полных диапазонах изменения управляющих воздействий, при различных условиях экструдирования. Главная задача таких исследований – подтверждения физической непротиворечивости полученной модели для широких областей изменения ее входных переменных, выявление тех областей и условий, где и при которых эта непротиворечивость может нарушаться. В качестве методологии анализа такого соответствия использовался эвристический подход, в основе которого лежит понимание физической сущности процесса ЭБП и работы оборудования, которое его реализует. Фрагменты результатов таких исследований приведены на рис. 8 и 9. На рис. 9 выделена область, в которой процессы в модели по температуре θ_3 противоречат физической сущности процесса – она, в условиях отсутствия нагрева ТЭНов, т.е. при $u_{ni} = 0, i = 1 \dots 3$, в начале переходного процесса θ_3 начинает, вопреки сущности процесса, уменьшаться до значений ниже температуры окружающей среды. Других нарушений физической сущности процесса не выявлено. Данным нарушением было решено пренебречь, т.к. оно проявляется локально – только в малой области переходного процесса при выходе модели экструдера с режима холостого хода на рабочую нагрузку.

Главный вывод по результатам тестирования – разработанную ММ и ее реализацию в форме имитационной модели можно признать адекватной процессу ЭБП, реализуемого на экструдере Е-150, как объекту автоматического управления. Ее необходимо и можно применять для разработки эффективных САУ указанным процессом, и, прежде всего, алгоритмов, обеспечивающих непосредственное управление переменными процесса, динамика изменения которых соответствует динамике самого процесса.

Заключение.

1. Сделанный вывод об адекватности разработанной ММ процессу ЭБП, реализуемого на экструдере Е-150, как объекту автоматического управления, необходимо рассматривать как предварительный. Окончательное подтверждение адекватности могут дать только результаты испытаний САУ, разработанной на основе этой модели, на реальном экструдере. Вместе с тем, результаты всестороннего тестирования модели дают веские основания для дальнейшей работы с моделью.

2. Технология экспериментально-эвристического подхода, принятая для разработки ММ процесса ЭБП как ОУ, здесь показала свою эффективность. Она проявилась в том, что на основе ограниченного количества экспериментов была получена физически обоснованная и адекватная модель. Эта эффективность, на наш взгляд, обусловлена тем, что при экспериментально-эвристическом подходе объединяются знания объективные, суть которых – характеристики процесса, получаемые в ходе натуральных экспериментов, и знания субъективные, суть которых – понимание разработчиком модели физической сущности протекающих процессов.

3. Реализация модели в имитационной форме снимает все ограничения на разработку сложных, в т.ч. существенно нелинейных, алгоритмов управления. При этом специальная организация машинных экспериментов с имитационными моделями САУ, в том числе оптимизационных и вероятностных экспериментов, позволит проводить настройку и тестирование алгоритмов таким образом, чтобы разработанная САУ соответствовала бы двум важным, но противоречивым принципам: оптимальности и робастности.

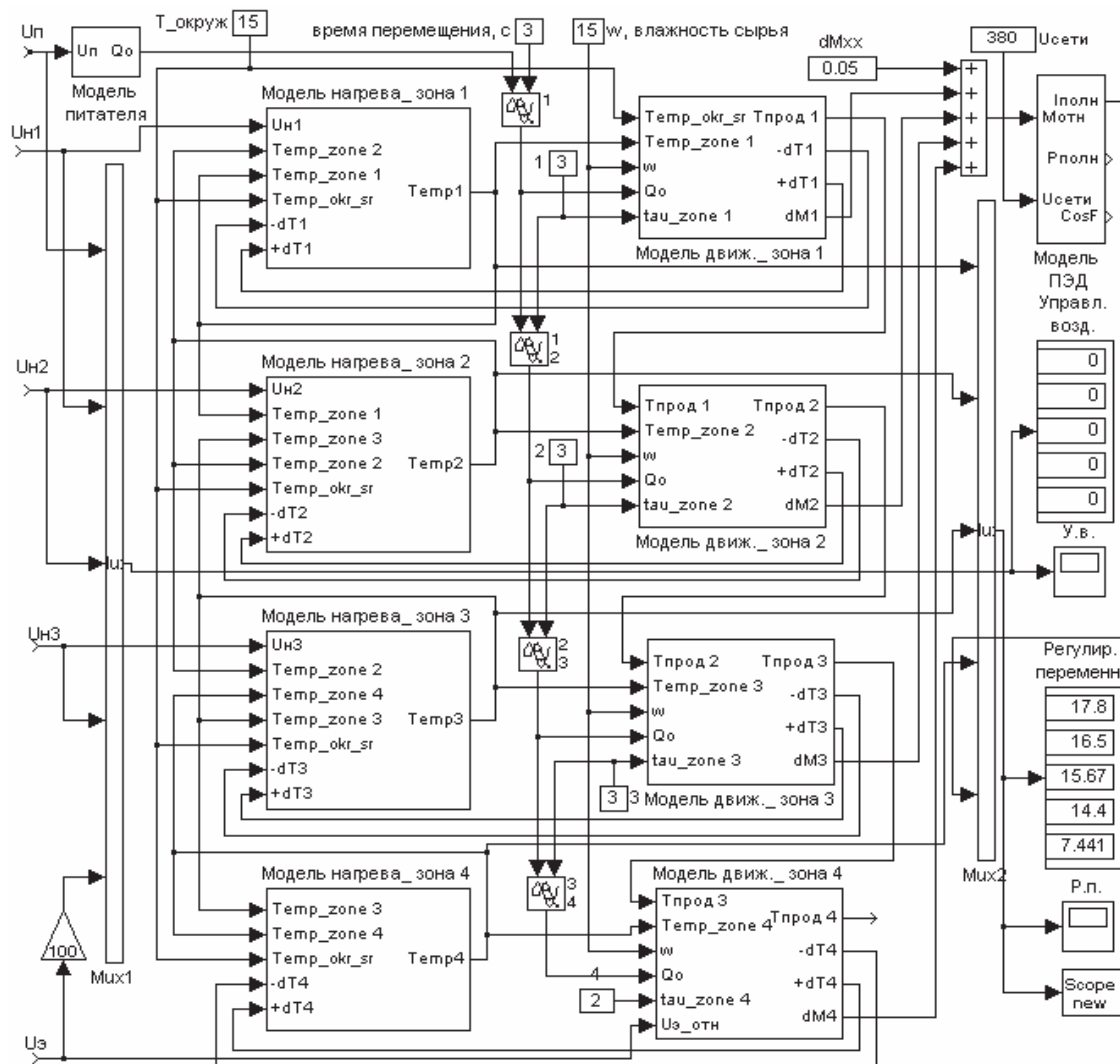


Рис. 4 – Обобщенная структурная схема имитационного моделирования экструдера E-150 как ОУ

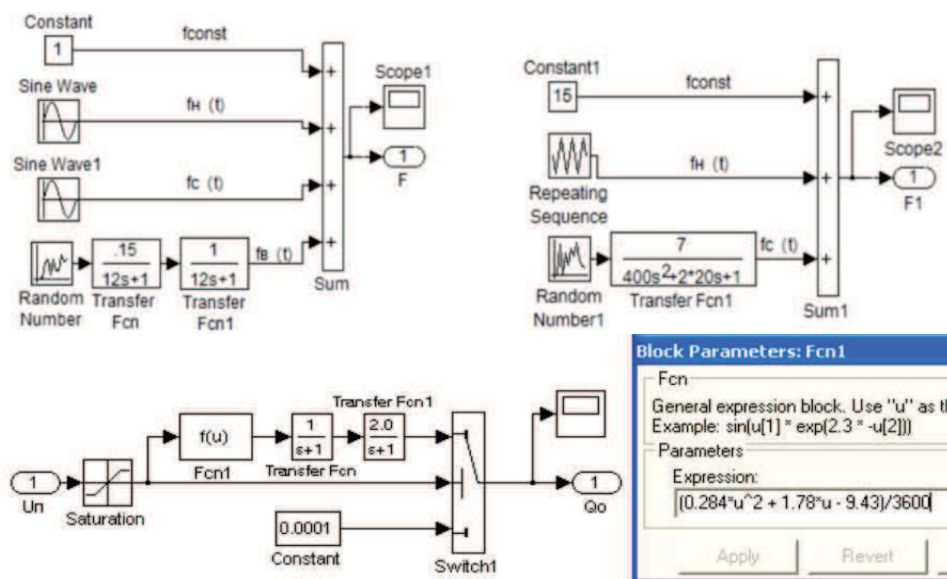


Рис. 5 – Детализированные структурные схемы имитационного моделирования возмущений и вибрпитателя

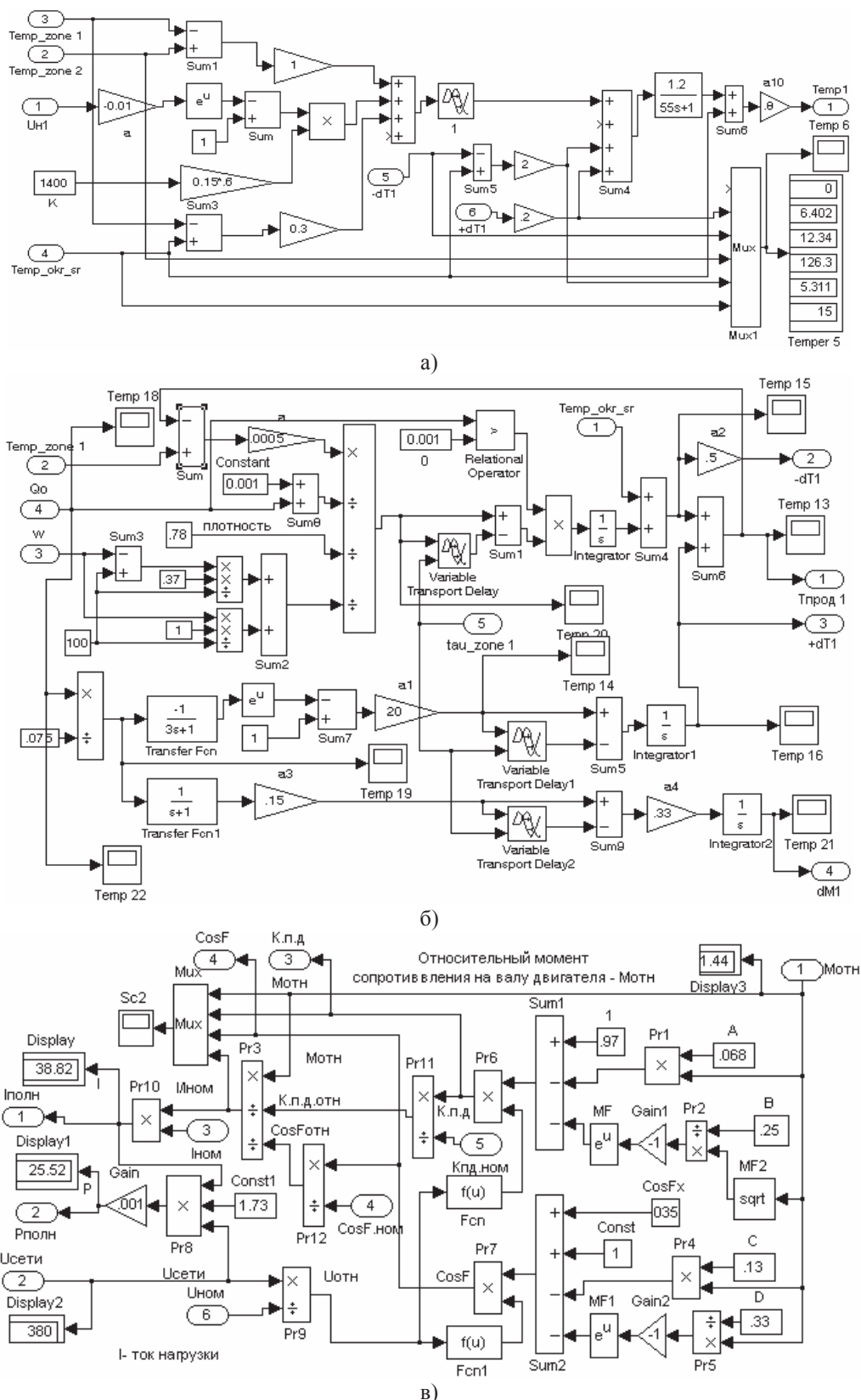
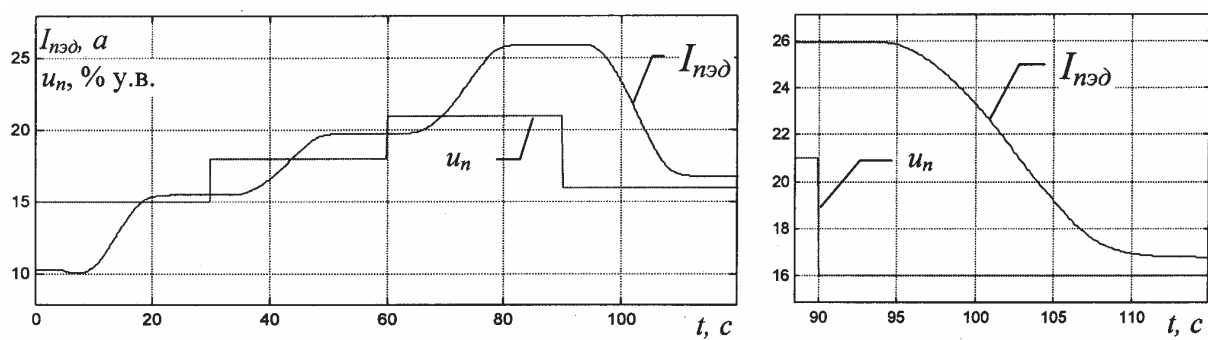
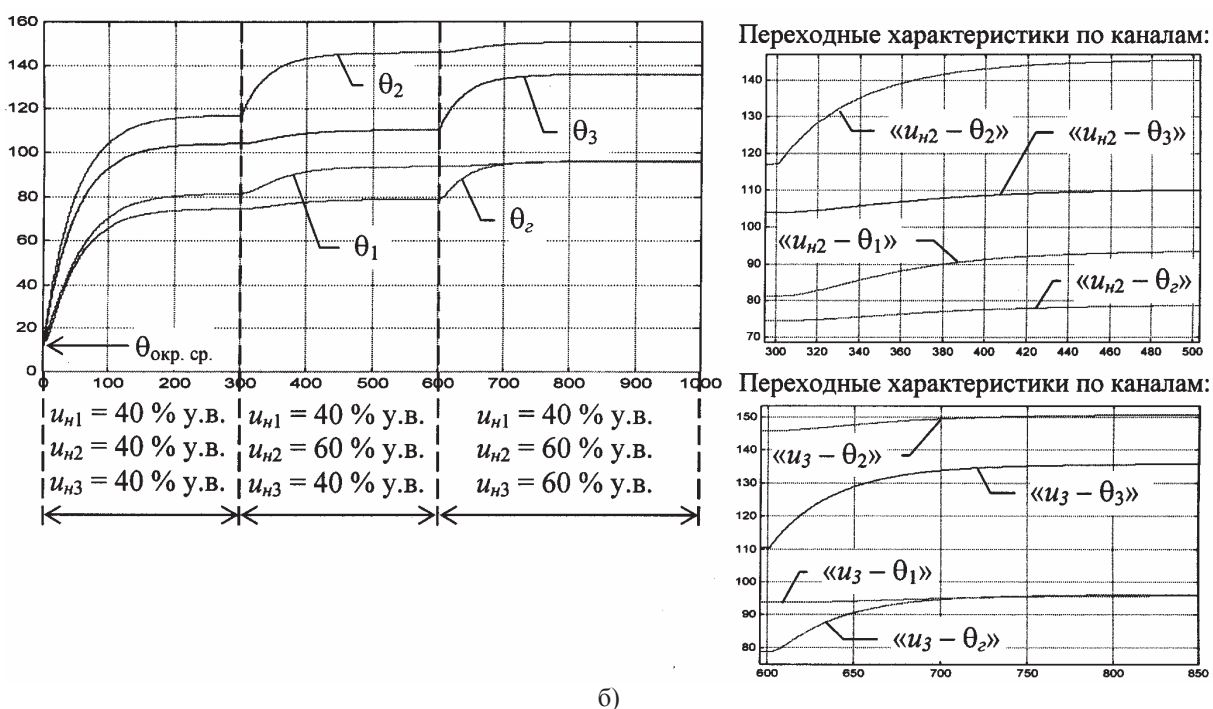


Рис. 6 – Примеры детализированных структурных схем имитационного моделирования: а) нагрева зон прессования и головки экструдера ТЭНами; б) процессов движения экструдруемого материала через зоны вдоль оси экструдера; в) ПЭД экструдера



а)



б)

Рис. 7 – Фрагменты результатов экспериментальных исследований динамических свойств имитационной модели экструдера E-150: а) каналов управления нагрузкой ПЭД; б) каналов управления (прямых и перекрестных) температурным режимом прессования и экструдирования

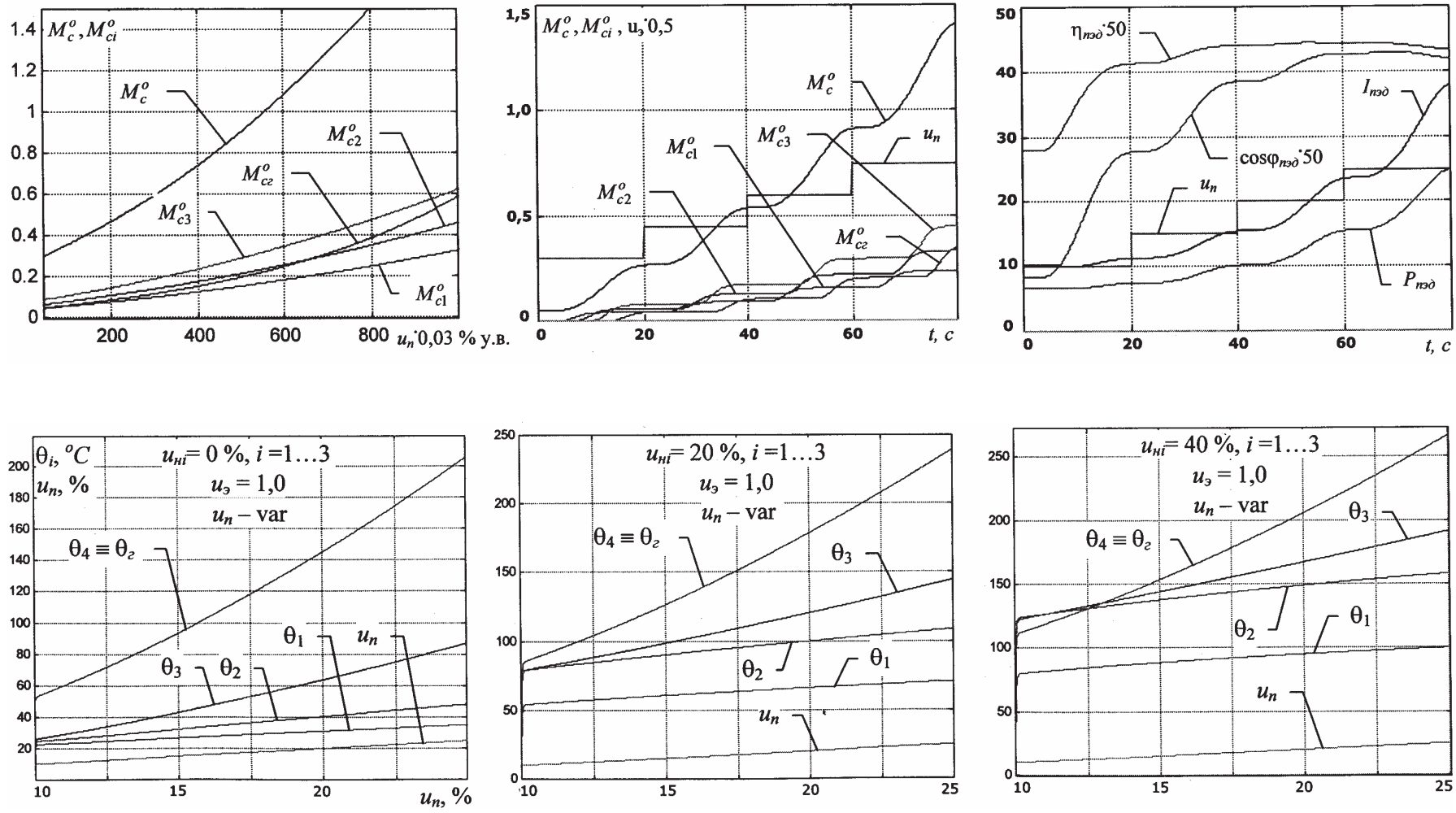
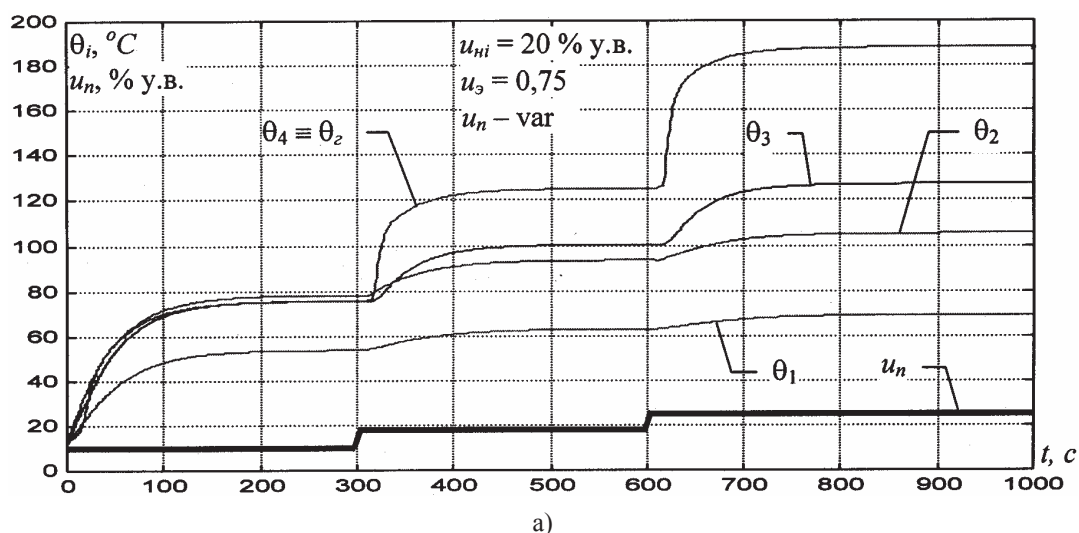
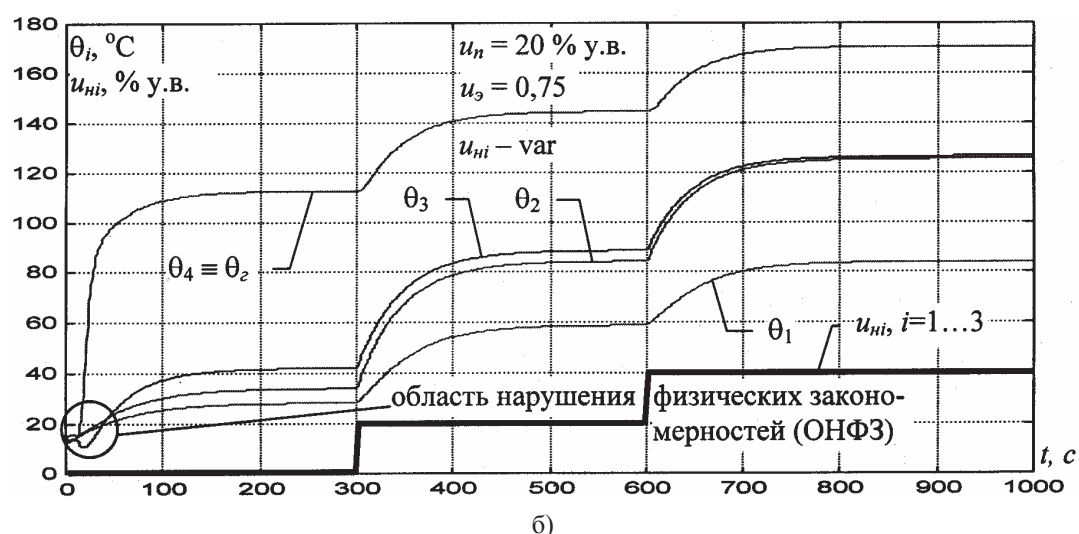


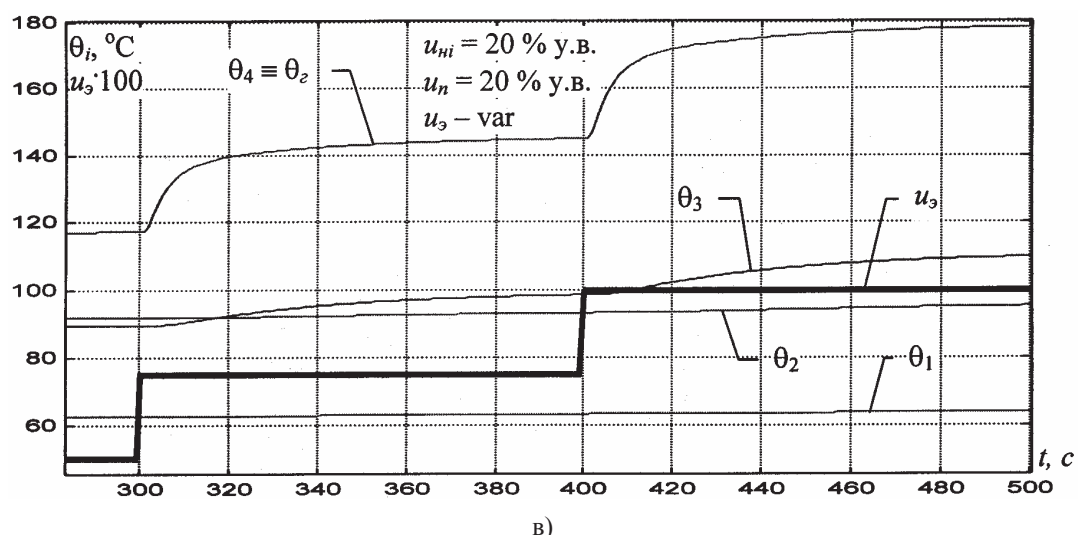
Рис. 8 – Фрагмент результатов тестирования имитационной модели экструдера E-150 при изменениях подачи продукта на экструдирование (u_n - var)



а)



б)



в)

Рис. 9 – Фрагмент результатов тестирования имитационной модели экструдера E-150 при изменениях: а) подачи продукта на экструдирование ($u_n - \text{var}$); б) при изменениях нагрева зон прессования ($u_{ni} - \text{var}$); в) при изменениях сечения канала движения материала в экструзионной головке ($u_3 - \text{var}$)

Литература

1. Isermann Howard P. Twin-Screw Food Extrusion: Control Case Study // Joel Schlosburg, May 12th, 2005. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/WWW/faculty/bequette/URP/JoelS-presentation.pdf>.
2. Хобин В.А., Егоров В.Б. Процесс экструдирования растительного сырья как объект управления: особенности, задачи управления, структура // Мат. XV міжнарод. конф. з автоматичного управління (Автоматика – 2008), м. Одеса, 23 – 26 вересня 2008 року. – Одеса: ОНМА, 2008. – Мат. в 2-х т. – Т. 2. – С. 643 – 646.
3. Хобин В.А., Егоров В.Б. Повышение эффективности процесса экструдирования комбикормов средствами автоматического управления // Зерновые продукты и комбикорма. – Одесса, 2008. – № 3 (31). – С. 53 – 54.
4. Хобин В.А., Егоров В.Б. Концептуальна модель процесу екструдювання рослинної сировини як об'єкта управління // Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2009. – Вип. 36. – Т. 2. – С. 246 – 254.
5. Насыров А.Ш. Моделирование процесса экструдирования как объекта управления при переработке материалов растительного происхождения. – Диссер. к.т.н. – Оренбург, 2004. – 162 с.
6. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
7. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
8. Экструдеры BRONTO модели E-150, E-250, E-500 и E-1000 <http://www.ekko.com.ua/?newsid=56>, <http://www.tradingfirm.org/ext.html>
9. Егоров В.Б., Степанов М.Т., Хобин В.А. Автоматизированное рабочее место исследователя процесса экструдирования комбикормов: актуальность, функции, программно-техническая структура // Зерновые продукты и комбикорма. – Одесса, 2009. – № 1 (33). – С. 51 – 54.
10. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

УДК 621.867:664.7

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ЗЕРНОВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ЦЕЛЬЮ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Амбарцумянц Р.В., д-р техн. наук., проф., Орлова С.С., канд. техн. наук., асс.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В данной работе проведен анализ современного транспортного оборудования, применяемого на зерновых и перерабатывающих предприятиях, даны рекомендации по его дальнейшему усовершенствованию.

In the given work the analysis of the modern transport equipment applied at the grain and processing enterprises is carried out, recommendations about its further improvement are given.

Ключевые слова: транспортное оборудование, конвейер ленточный, скребковый, винтовой, нория.

Важную роль в развитии агропромышленного комплекса играет транспорт. Все виды транспорта общего пользования составляют единую транспортную систему. В структуре перевозимых грузов преобладают: сельскохозяйственные (в значительной мере хлебные), строительные, лесные, каменноугольные, нефтепродуктовые и т.п.

На зерновых и перерабатывающих предприятиях, при выполнении погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ могут иметь место следующие 4 операции: погрузка – захват груза с постоянного или временного места хранения, перемещение и укладка на транспортное средство (также можно отнести и укладку в транспортную тару); выгрузка – захват и снятие груза с транспортного средства, перемещение и укладка груза на места постоянного или временного хранения (также можно отнести и выемку из транспортной тары); транспортировка – перемещение груза транспортными средствами от места погрузки и места выгрузки; перевалка – когда груз снимают с одного транспортного средства и укладывают на другое.