

УДК 007.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150848

## Синтез структуры функциональных систем преобразовательного класса с порционной подачей входных продуктов

И. А. Луценко, И. Г. Оксанич, Д. А. Приходько, С. С. Коваль,  
Е. И. Феоктистова, И. В. Колос

*Основні зусилля, пов'язані зі створенням і розвитком підприємства, спрямовані на підвищення ефективності використання ресурсів в процесі його функціонування. Таке завдання може бути успішно вирішено тільки в тому випадку, якщо домогтися максимальної ефективності на кожному етапі перетворювального процесу технологічного класу. У свою чергу, вирішення цієї задачі, на кожному окремому етапі, пов'язане зі створенням обґрунтованої структури об'єкта, відносно функціонального перетворення вхідних продуктів у вихідні продукти системної операції. Такий об'єкт, функціонування якого здійснюється максимальною ефективністю використання ресурсів, заочно визначили поняттям «функціональна система».*

*На прикладі технологічного процесу нагріву рідини в роботі вирішена задача синтезу функціональної системи перетворювального класу з порціонної подачею продуктів спрямованого впливу. В ході синтезу, на першому етапі, вирішувалося завдання забезпечення можливості інтерактивної взаємодії системних об'єктів в процесі формування готового продукту з заданими споживчими якостями.*

*На другому етапі синтезу розроблялася архітектура модуля ідентифікації системних операцій і визначення граничних значень області ефективних управлінь.*

*На третьому етапі створювався модуль, що пов'язує рівень запасів готової продукції системи з її продуктивністю.*

*Використання запропонованого підходу дозволило створити функціональну структуру що має максимальну кількість ступенів свободи управління. У свою чергу, таке рішення дозволило забезпечити формування оптимальної траєкторії управління у функції споживчого попиту на готову продукцію.*

*Запропоноване рішення дозволяє використовувати синтезовану архітектуру для класу функціональних систем перетворювального класу з порціонної подачею вхідних продуктів*

*Ключові слова: синтез системи, структура об'єкта, кібернетична модель, ефективності функціонування, модель операції*

### 1. Введение

Основной задачей любого предприятия является максимизация возможностей за счет эффективного использования доступных ресурсов [1] в процессе выпуска потребительского продукта с требуемыми качественными показателями [2].

Естественно, что этого можно добиться только в том случае, если в режиме максимальной эффективности будут функционировать все ресурсоемкие технологические процессы предприятия [3].

В свою очередь, это означает, что некие структурные единицы предприятия должны функционировать взаимосвязано, но, не теряя степеней свободы, необходимых для выбора наиболее эффективного [4], оптимального [5] управления.

На уровне интуитивного восприятия такую структурную единицу определили понятием «система» [6], как некоторую целостность [7].

Осознавая практическую важность определения принципов функционирования таких систем [8], начался процесс определения и попыток синтеза ее структуры [9, 10].

Тот факт, что до настоящего времени не существует общепринятого определения функциональной системы и не разработаны принципы ее синтеза, говорит о сложности решения этой проблемы.

Поэтому вопрос синтеза структуры функциональной системы является важной научной и практической задачей.

## **2. Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Привлекательность идей кибернетики, как науки о системах и системных взаимодействиях, состоит в возможности создания общих моделей функциональных объектов [11]. В случае реализации такого подхода замена одного технологического механизма одного вида на другой технологический механизм не приведет к изменениям в структуре функциональной системы.

С другой стороны, кибернетическая структура функциональной системы должна обеспечивать выполнение всех необходимых технологических функций и функций управления [12]. На выходе такой структуры должен быть получен выходной продукт с требуемыми количественными и качественными параметрами в режиме максимальной эффективности использования ресурсов. В свою очередь это означает, что синтезируемая система должна обладать максимальным количеством степеней свободы.

При этом в оптимизации, первую очередь, нуждаются процессы ресурсоемких систем [13]. Однако технологические объекты именно таких систем, на этапе проектирования, проходят не процедуру оптимизации, а минимизации затрат. Технологические механизмы преобразования продуктов таких структур связываются непосредственно между собой. Такие производственные цепочки имеют связи и параметры необходимые для производства продукции с требуемыми качественными [14] и качественными показателями [15]. Однако при этом теряются степени свободы управления [16].

Это связано с тем, что локальные экстремумы систем входящих в такую синтезированную структуру, могут совпадать только случайно, а максимальная эффективность использования ресурсов в таких производствах недостижима в принципе [17].

В таких производственных структурах повышение эффективности осуществляется не за счет оптимизации процессов управления, а за счет

создания и внедрения новых технологий [18]. В тех случаях, когда ограниченные возможности управления все же реализуются, в реализованных структурах встраиваются механизмы не оптимального, а экстремального управления [19].

В ряде случаев тема структурной оптимизации вырождается в задачу технологической согласованности производственных механизмов [20] и не предусматривает решение задачи оптимизации [21].

Решить вопросы оптимизации пытаются путем создания новых технологий обработки данных [22], например, интегрируя в структуру системы нейронные сети [23]. Однако для этого нейронная сеть должна пройти процедуру обучения, для того чтобы отличать одно эффективное решение от другого, более или менее эффективного.

Исследования показывают, что на эффективность функционирования производственной структуры решающее влияние оказывает уровень спроса на произведенную продукцию [24]. В случае если спрос превышает предложение, производственная система должна работать в режиме максимальной эффективности. Если спрос существенно ниже уровня, который достигим в режиме максимума эффективности, необходим переход в режим максимума добавленной стоимости [25]. Для удовлетворения нестабильности спроса создаются системы буферизации, однако принципы их функционирования рассматриваются изолированно от процессов производственных систем [26] и не связаны с технологиями бизнес-аналитики [27].

Таким образом, в настоящее время не решена задача синтеза функциональной системы, которая обеспечивает производство качественного продукта с требуемыми количественными параметрами с максимальной эффективностью и изменяющимся уровнем спроса.

### **3. Цель и задачи исследования**

Целью работы является синтез кибернетической структуры функциональной системы с порционной подачей технологических продуктов. Это даст возможность разработать единую архитектуру для управляемых систем преобразовательного класса с порционной подачей технологических продуктов.

Для достижения поставленной цели исследования решались следующие задачи:

- обосновать необходимость использования системных структур в производственных задачах;
- синтезировать системный объект, обеспечивающий производство готового технологического продукта с требуемыми качественными и количественными параметрами;
- синтезировать структуру идентификации диапазона эффективных управлений;
- создать структуру согласования механизма преобразовательного класса и механизма буферизации.

#### 4. Синтез структуры функциональной системы преобразовательного класса с порционной подачей технологического продукта

##### 4. 1. Обоснование необходимости использования системного подхода в задачах синтеза производственных структур

Решение производственных задач любого предприятия обеспечивается в процессе выполнения необходимых для этого технологических операций. Эффективность этих технологических операций (ТО) зависит от качества управления и наличия разного рода ограничений, которые накладываются на процесс управления.

Для того чтобы оценить эффективность ТО, необходимо построить ее целевую модель. То есть, такую модель, исследуя которую можно высказывать суждение об эффективности формируемых операций.

Так, кибернетическая однопродуктовая модель технологического механизма может быть представлена в виде (рис. 1).

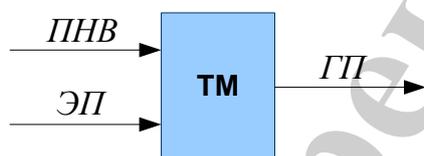


Рис. 1. Однопродуктовая модель технологического механизма

Здесь на вход технологического механизма (ТМ) поступает один продукт направленного воздействия (ПНВ) и энергетический продукт (ЭП). На выходе ТМ формируется готовый продукт (ГП).

Поскольку при изменении интенсивности подачи энергетического продукта изменяется уровень износа ТМ, модель ТО должна учитывать состояние самого ТМ как одного из входных продуктов операции. Так, условно можно принять, что на вход ТО подается ПНВ, ЭП и сам ТМ как технический продукт. По завершению операции на ее выходе формируется готовый продукт и несколько изношенный выходной технический продукт (рис. 2) [28].

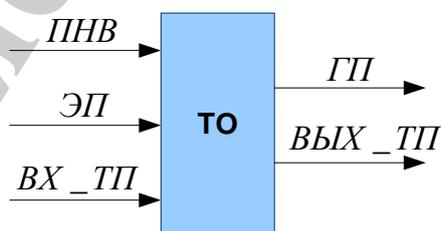


Рис. 2. Кибернетическая модель технологической операции

Разность состояния оборудования на входе и выходе операции определяется понятием «износ». Поэтому можно считать, что для проведения ТО необходимы ПНВ, ЭП и ресурс оборудования в виде его износа (рис. 3) [29].

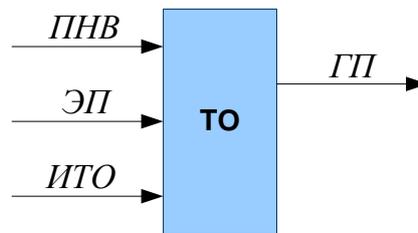


Рис. 3. Упрощенная кибернетическая модель технологической операции:  
ИТО – износ технологического оборудования

Количественные параметры, характеризующие движение продуктов операции, можно представить в виде сигналов регистрации  $rq_D(t)$ ,  $rq_P(t)$ ,  $rq_W(t)$ ,  $pq(t)$ . Здесь  $rq_D(t)$  – сигнал регистрации движения ПНВ,  $rq_P(t)$  – сигнал регистрации движения ЭП,  $rq_W(t)$  – сигнал регистрации износа оборудования,  $pq(t)$  – сигнал регистрации движения выходного продукта операции.

Для того чтобы сравнивать между собой тот или иной параметр операций полученных при разной производительности, необходимо сигналы регистрации представить в виде их интегральных величин. Тогда

$$RQ_D = \int_{t_s}^{t_F} rq_D(t) dt; \quad RQ_P = \int_{t_s}^{t_F} rq_P(t) dt;$$

$$RQ_W = \int_{t_s}^{t_F} rq_W(t) dt; \quad PQ = \int_{t_s}^{t_F} pq(t) dt,$$

где  $RQ_D$  – объем поступления ПНВ;  $RQ_P$  – объем поступления ЭП;  $RQ_W$  – уровень износа оборудования;  $PQ$  – объем готового продукта ТО;  $t_s$  – момент начала ТО;  $t_F$  – момент завершения ТО.

Исследованиями установлено [30], что повышение производительности, как правило, приводит к снижению величины энергопотребления и к увеличению уровня износа ТМ (рис. 4).

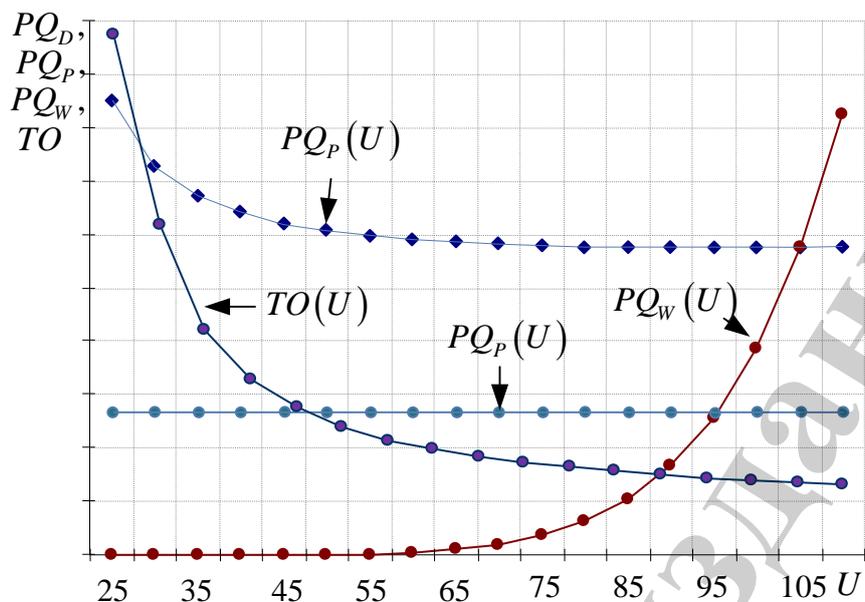


Рис. 4. Изменение параметров технологической операции от управления:  $U$  – управление;  $PQ_P$  – энергопотребление;  $PQ_D$  – продукт направленного воздействия;  $PQ_W$  – износ;  $TO$  – время технологической операции

Монотонно возрастающая функция изменения износа от управления характерна для случая, когда физика процесса не изменяется [31]. В противном случае функция износа может иметь локальные экстремумы [32].

Для того чтобы высказывать суждение об эффективности операционного процесса, потери, связанные с энергопотреблением и износом, необходимо приводить к сопоставимым стоимостным величинам. В этом случае объемы входных и выходных продуктов операции можно между собой сопоставлять.

Тогда

$$RE = RQ_D \cdot RS_D + RQ_P \cdot RS_P + RQ_W \cdot RS_W;$$

$$PE = PQ \cdot PS,$$

где  $RE$  – стоимостная оценка входных продуктов операции;  $PE$  – стоимостная оценка выходных продуктов операции;  $RS_D$  – стоимостная оценка единицы ПНВ;  $RS_P$  – стоимостная оценка единицы ЭП;  $RS_W$  – стоимостная оценка единицы износа оборудования;  $PS$  – стоимостная оценка единицы выходного продукта (рис. 5).

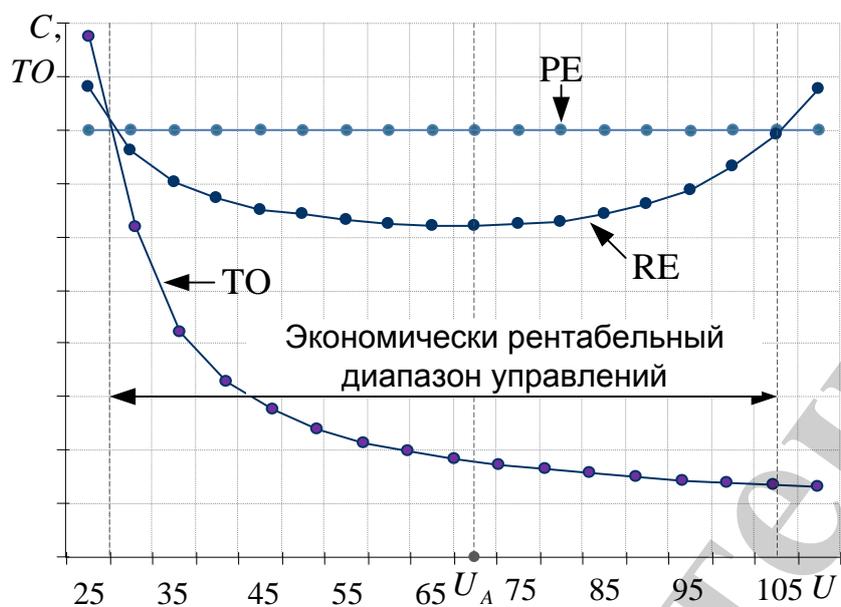


Рис. 5. Изменение времени операции (TO) и сопоставимых параметров по входу (RE) и выходу (PE) от управления (U)

Таким образом, правильно спроектированный технологический механизм, выполняющий одну технологическую функцию, может функционировать во всем экономически рентабельном диапазоне управлений. В этом диапазоне стоимостная оценка выходных продуктов операции (PE) больше стоимостной оценки входных продуктов операции (RE), то есть  $(PE > RE)$ .

Очевидно, что в этом диапазоне находится самый выгодный режим функционирования технологического оборудования. В частности, доступен режим  $U_A$  (рис. 5), которому соответствует минимум затрат или максимум добавленной стоимости.

Ситуация изменяется в том случае, если технологическая цепочка представлена несколькими, непосредственно связанными между собой, технологическими механизмами одного класса.

На рис. 6 представлена модель, состоящая из двух последовательных однопродуктовых технологических механизмов (рис. 6).

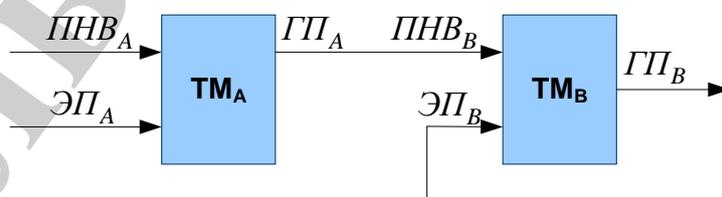


Рис. 6. Модель производственной линии в виде двух взаимосвязанных технологических механизмов

Здесь готовый продукт ТМ<sub>A</sub> является входным продуктом ТМ<sub>B</sub>.

В такой ситуации, когда выход предыдущего преобразовательного ТМ непосредственно связан с входом последующего ТМ, необходимо так

управлять подачами энергетических продуктов  $ЭП_A$  и  $ЭП_B$ , чтобы производительность механизмов  $ТМ_A$  и  $ТМ_B$  была согласованной. А.

Каждый ТМ имеет свои приведенные характеристики входных и выходных продуктов, экстремумы которых в общем случае не совпадают (рис. 7).

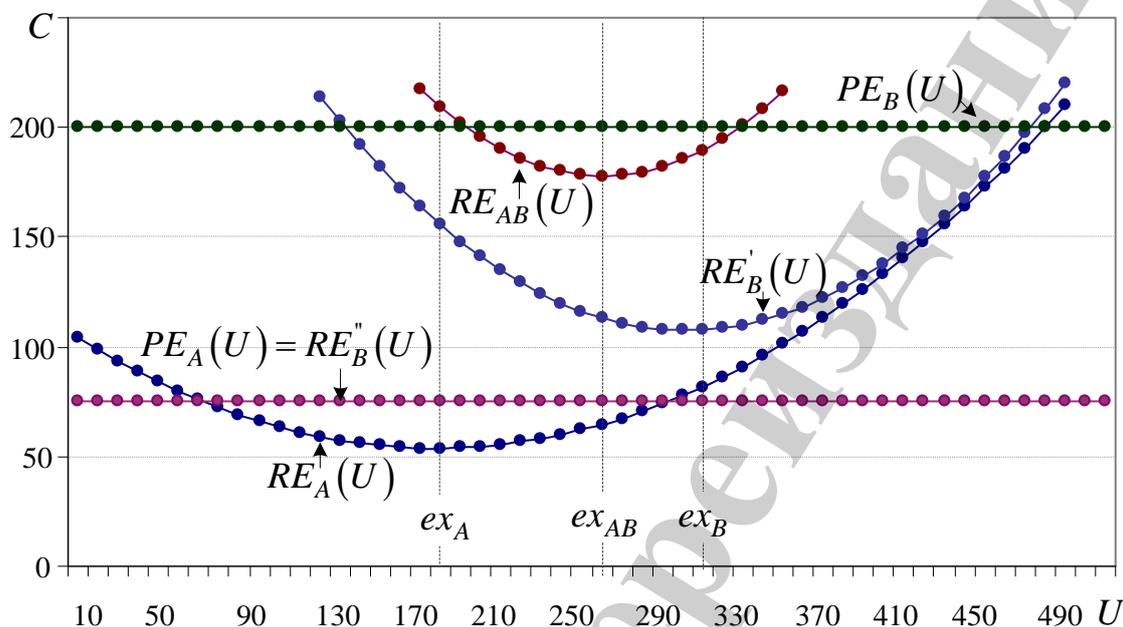


Рис. 7. Индивидуальные и совместные характеристики изменения сопоставимых продуктов операций от управления

Поскольку изменение производительности одного механизма приводит к необходимости соответствующего изменения производительности другого механизма, приведенную характеристику потребления входных продуктов операционного процесса  $ТМ_A$  и  $ТМ_B$  необходимо рассматривать как единое целое (рис. 8).

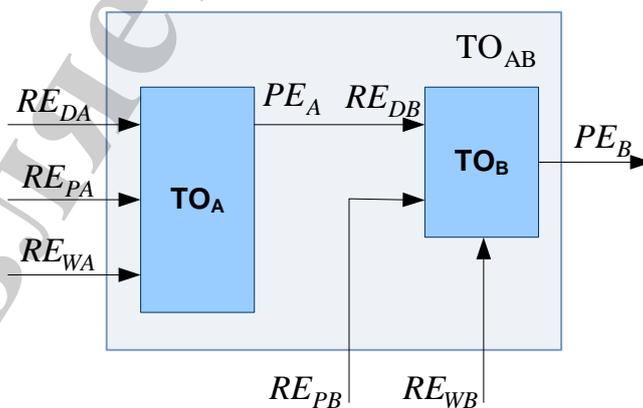


Рис. 8. Структура для построения обобщенной модели технологической операции

Как видно (рис. 7), минимум затрат обобщенной операции  $TO_{AB}$  не совпадает с минимумами затрат как операции  $TO_A$ , так и операции  $TO_B$ .

Если реализовать возможность независимого функционирования механизмов  $TM_A$  и  $TM_B$ , то в режиме минимума затрат (режимы  $ex_A$  и  $ex_B$ ) можно было бы получить добавленную стоимость в размере  $DE_A = PE_A - RE_A = 21,24$  ден. ед., а от процесса  $TM_B$  – в размере  $DE_B = PE_B - (RE'_{DB} + RE'_{PB}) = 22,08$  ден. ед.

Суммарная добавленная стоимость ( $DE_{(A+B)}$ ) составит величину  $DE_{(A+B)} = DE_A + DE_B = 38,72$  ден. ед.

В режиме согласованной производительности  $TM_A$  и  $TM_B$  величина добавленной стоимости  $TM_{AB}$  составит  $DE_{AB} = PE_B - (RE_A + RE'_{PB}) = 22,08$  ден. ед.

То есть, потери в добавленной стоимости для связанных механизмов составляют 57 % для случая на рис. 7.

Таким образом, возможности максимизации получаемого положительного эффекта выше в том случае, если ТМ преобразовательного класса не связаны между собой непосредственно, а входят в состав самостоятельно функционирующих систем. Это возможно в том случае, если системы преобразовательного класса взаимодействуют с системами буферизации (рис. 9) [33].

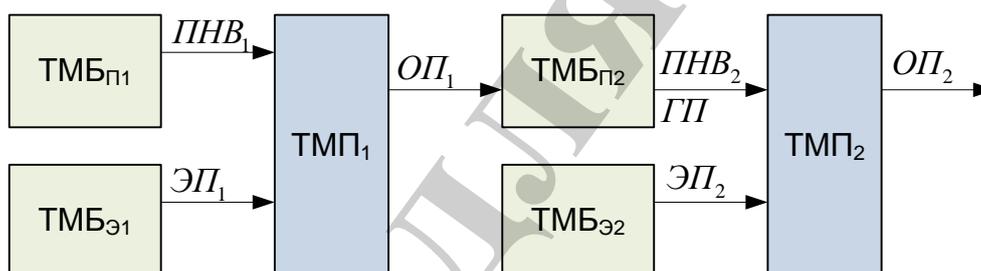


Рис. 9. Структура производственной линии с дополнительными механизмами буферизации

В этом случае режим работы МПК<sub>1</sub>, при наличии собственных управлений, не зависит от режима работы МПК<sub>2</sub>.

На выходе функциональной системы должен формироваться выходной продукт как с требуемыми качественными, так и количественными параметрами. Поэтому, в ее состав синтезируемой комплектной системы должен входить как ТМ преобразования, так и ТМ буферизации.

#### 4. 2. Синтез структуры комплектной функциональной системы

Процесс синтеза функциональной системы состоит в последовательном наращивании функционала объекта до тех пор, пока не будут реализованы все необходимые функции для реализации системных операций.

На первом этапе синтеза формировалась системная структура, которая обеспечивает формирование готового продукта с требуемыми качественными и



сигнал задания объема подачи холодной жидкости ( $u_{ZD}$ ); сигнал интенсивности подачи энергетического продукта ( $u_{ZP}$ ); значение температуры нагрева жидкости ( $u_T$ ).

Синтезированная структура работает следующим образом.

В исходном состоянии на выходах механизмов сравнения  $МС_2$  и  $МС_3$  установлены сигналы низкого уровня. Соответственно, сигнал низкого уровня установлен на входе и выходе ячейки памяти ЯП, а, следовательно, на входах механизма координации  $МК_3$  и элемента НЕ.

На выходе элемента НЕ устанавливается сигнал высокого уровня.

Для начала автоматического функционирования на первый вход элемента ИЛИ<sub>1</sub> подается единичный импульсный сигнал высокого уровня. С выхода ИЛИ<sub>1</sub> этот сигнал поступает на вход 3 механизма координации  $МК_2$ .

Механизмы координации  $МК_1$ – $МК_4$  запоминают параметры сигналов, поступающих на их входы. Если на одном информационном входе МК установлен сигнал ненулевого уровня, а на остальных входах разрешения передачи сигналы высокого уровня, информационный сигнал передается на выход МК, а сигналы разрешения передачи обнуляются.

Сигнал пропорциональный текущему уровню нагретой жидкости поступает с выхода датчика  $D_2$  механизма буферизации на второй вход механизма сравнения  $МС_2$  и первый вход механизма сравнения  $МС_3$ .

Если текущий уровень запасов МБ меньше нижнего уровня, на выходе  $МС_2$  формируется единичный импульсный сигнал высокого уровня.

Поскольку на выходе элемента НЕ (втором входе  $МК_4$ ) установлен сигнал высокого уровня. Поэтому с выхода  $МС_2$  импульсный сигнал высокого уровня через механизм координации  $МК_4$  поступает на первый вход записи ячейки памяти ЯП и на первый вход элемента ИЛИ. На выходе ЯП (входах  $МК_3$  и элементе НЕ) устанавливаются сигналы высокого уровня.

С выхода элемента ИЛИ импульсный сигнал высокого уровня поступает на второй вход механизма координации  $МК_2$ .

Поскольку на третьем входе  $МК_2$  установлен сигнал высокого уровня, сигнал задания  $u_{ZD}$  с выхода  $МК_2$  поступает на вход системы подачи холодной жидкости.

Холодная жидкость  $r_D$  в объеме  $u_{ZD}$  поступает в механизм буферизации нагревателя. С выхода датчика  $D_1$  сигнал пропорциональный интенсивности потока жидкости  $rq_D(t)$  поступает на вход дифференцирующего звена ДЗ<sub>1</sub>.

В момент прекращения подачи потока жидкости на выхода ДЗ<sub>1</sub> формируется импульсный сигнал единичного высокого уровня, который поступает на второй вход разрешения  $МК_1$ .

Поскольку на первый информационный вход  $МК_1$  поступает сигнал интенсивности подачи энергетического продукта  $u_{ZP}$ , в момент поступления сигнала разрешения импульсный сигнал величиной  $u_{ZP}$  поступает на вход системы подачи энергетического продукта.

С этого момента времени энергетический продукт  $r_P$  начинает поступать на вход механизма нагрева МН нагревателя, а жидкость начинает нагреваться.

Датчик  $D_2$  передает текущее значение температуры нагрева на вход механизма сравнения  $MC_1$ , где сравнивается с эталонным сигналом  $u_T$ .

Как только эти сигналы сравниваются по значению, на выходе  $MC_1$  формируется единичный импульсный сигнал. Этот сигнал поступает на вход прекращения подачи энергетического продукта СПЭП и на вход сервисного механизма выдачи основного продукта  $CM_1$ .

Сервисный механизм выдачи  $CM_1$  передает нагретую жидкость в механизм буферизации МБ.

Датчик  $D_3$  регистрирует поток передаваемой нагретой жидкости и в виде сигнала регистрации  $pq_B(t)$  передает его на вход дифференцирующего звена  $DZ_2$ .

С одной стороны, выходной сигнал  $DZ_2$  проходит через элемент ИЛИ и активизирует вход 3  $MK_2$ , а с другой стороны, активизирует вход 2  $MK_3$ .

Поскольку вход 1  $MK_3$  уже активен, импульсный сигнал с выхода  $MK_3$  через элемент ИЛИ и  $MK_2$  поступает на вход системы подачи холодной жидкости и процесс повторяется.

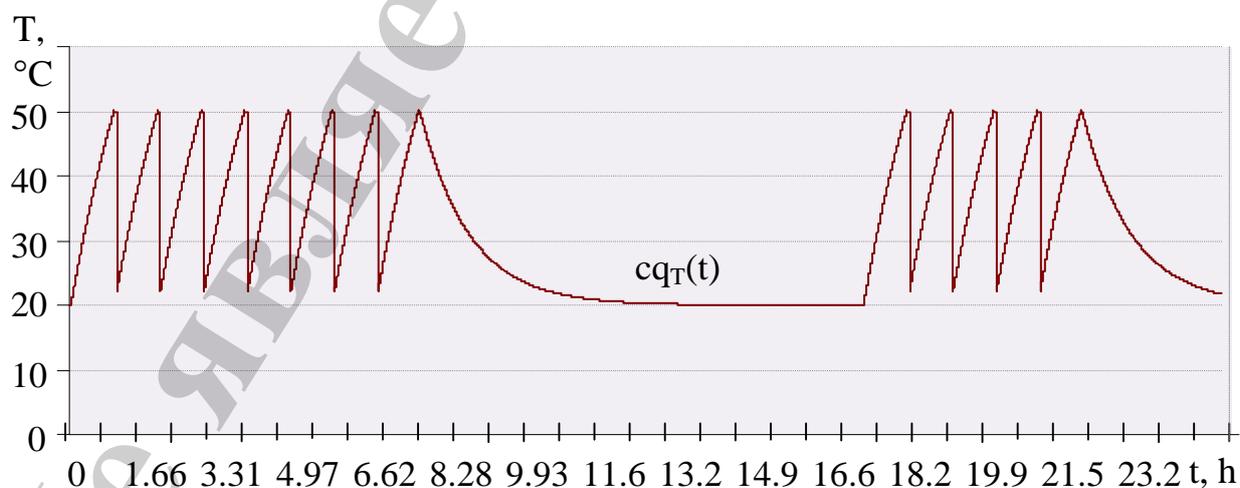
Как только уровень жидкости в механизме буферизации МБ достигает верхнего уровня  $u_{ZH}$ , на выходе механизма сравнения  $MC_3$  формируется сигнал высокого уровня, который обнуляет ячейку памяти ЯП. В результате низкий уровень выходного сигнала ЯП блокирует прохождение сигналов через  $MK_3$ .

С другой стороны, на втором разрешающем входе  $MK_4$  устанавливается высокий уровень.

Поскольку пополнения запасов МБ прекращается, уровень нагретой жидкости снижается и в определенный момент времени достигает нижнего уровня.

На выходе  $MC_2$  формируется импульсный сигнал высокого уровня и процесс начинается сначала.

На рис. 11 изображены временные диаграммы функционирования синтезированной структуры в среде моделирования EFLI [30].



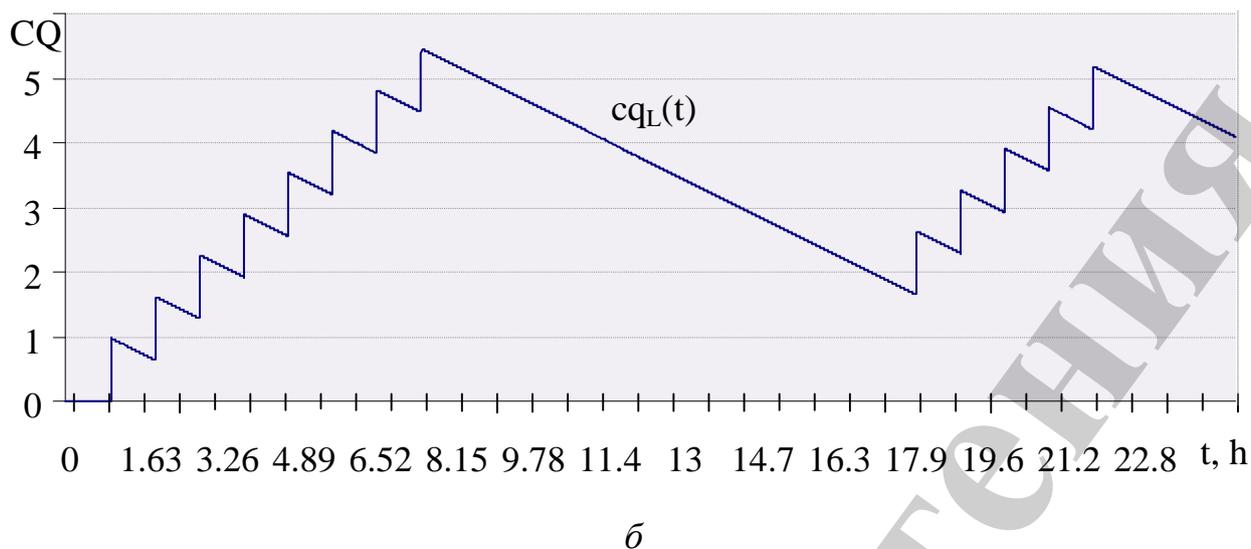


Рис. 11. Временные диаграммы синтезированной системы:  
*a* – диаграмма нагрева; *б* – диаграмма изменения запасов

#### 4. 3. Синтез структуры идентификации диапазона эффективных управлений

На следующем этапе синтеза была разработана структура модуля идентификации диапазона эффективных управлений (рис. 12).

Для этого определяется износ механизма нагрева как функция от энергетического потока [34]. С этой целью в структуру введен функциональный преобразователь  $FP_1$ , на выходе которого формируется сигнал регистрации потока износа  $rq_w(t)$ .

Стоимостная оценка входных ( $RE$ ) и выходных продуктов ( $PE$ ) операции определяется из выражений

$$RE = \int_{t_s}^{t_f} \left( \sum [rq_D(t) \cdot rs_D + rq_P(t) \cdot rs_P + rq_W(t) \cdot rs_W] \right) dt;$$

$$PE = \int_{t_s}^{t_f} \left( \sum [pq_B(t) \cdot ps_B] \right) dt.$$

С использованием таймера определяется время операции  $TO$ .

Сигналы  $RE$ ,  $PE$  и  $TO$  поступают на вход функционального преобразователя  $FP_2$ . В рамках  $FP_2$  осуществляется определение величины добавленной стоимости  $AO$  и эффективности использования ресурсов  $E$  с использованием структур реализующих вычислительные операции из выражений  $AE=PE-RE$  и  $E=(PE-RE)^2/(RE \cdot PE \cdot TO^2)$ .

Модуль SCAN обеспечивает перебор допустимых управлений. Для этого на его входы подается минимальное значение управления  $U_{ZP_{MIN}}$ , максимальное значение управления  $U_{ZP_{MAX}}$ , и шаг изменения управления.

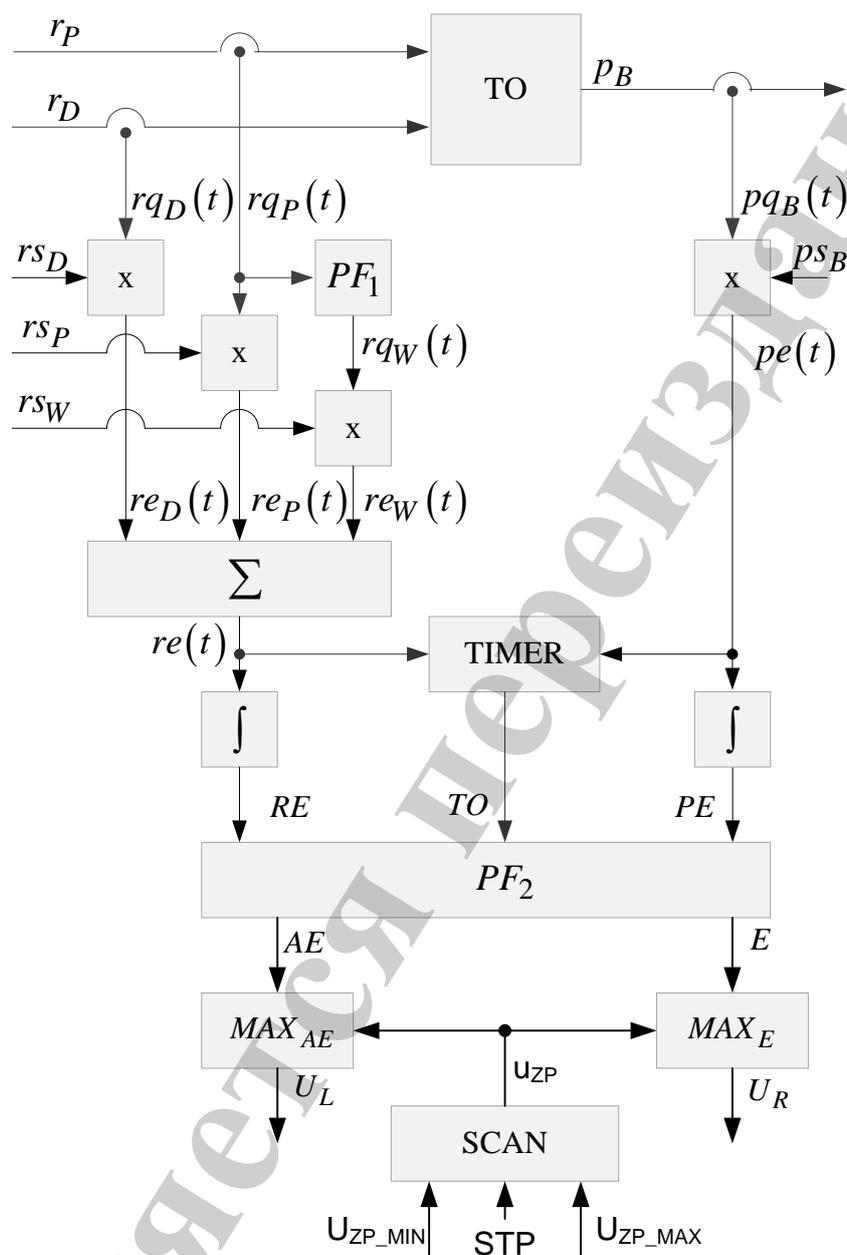


Рис. 12. Модуль идентификации диапазона допустимых управлений

На вход модуля  $MAX_{AE}$  поступает значение управления и соответствующее ему значение добавленной стоимости  $AE$ . На выходе выделяется управление  $U_L$ , которому соответствует максимальное значение добавленной стоимости.

С другой стороны, на вход модуля  $MAX_E$  поступает значение управления и соответствующее ему значение эффективности  $E$ . На выходе формируется управление  $U_R$ , которому соответствует максимальное значение эффективности использования ресурсов (рис. 13) [35].

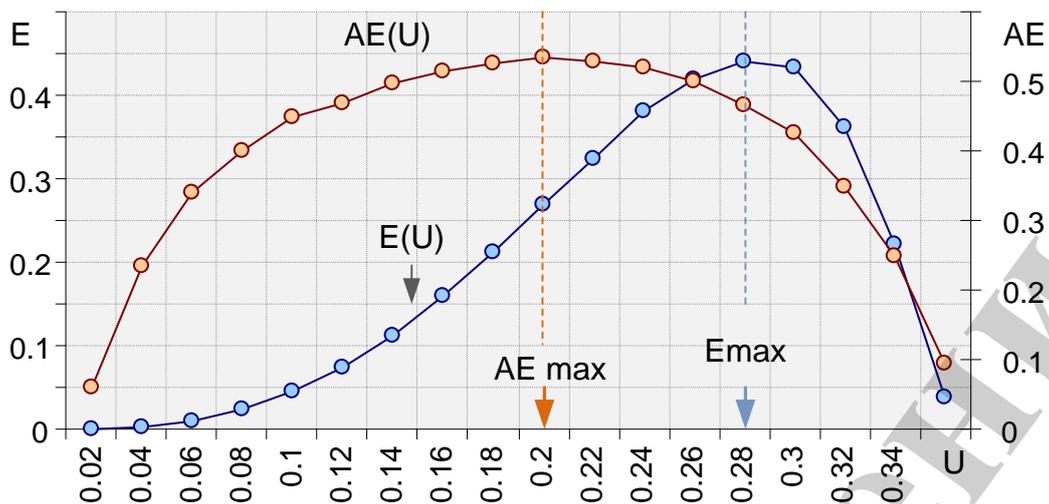


Рис. 13. Определение диапазона эффективных управлений

В качестве показателя эффективности использовался оценочный показатель, который прошел процедуру верификации на предмет возможности его использования в качестве формулы эффективности [36 – 40].

#### 4.4. Разработка структуры согласования механизма преобразовательного класса и механизма буферизации

На заключительном этапе синтеза разрабатывался модуль согласования уровня спроса с управлением преобразовательным процессом (рис. 14).

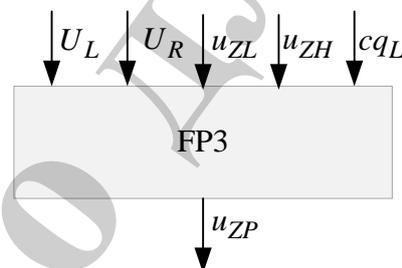


Рис. 14. Модель согласования управления преобразовательного процесса с уровнем спроса

На вход модуля поступают граничные значения управлений  $U_L$ ,  $U_R$  минимальный ( $u_{ZL}$ ), максимальный ( $u_{ZH}$ ) и текущий уровень запасов ( $cq_L$ ) механизма буферизации.

На выходе модуля формируется сигнал управления интенсивности подачи энергетического продукта в соответствии с выражением [41]

$$u_{ZP} = \frac{U_R (u_{ZH} - u_{ZL}) + (U_L - U_R)(cq_L - u_{ZL})}{u_{ZH} - u_{ZL}}.$$

На рис. 15 представлены диаграммы изменения управления от уровня запасов механизма буферизации.

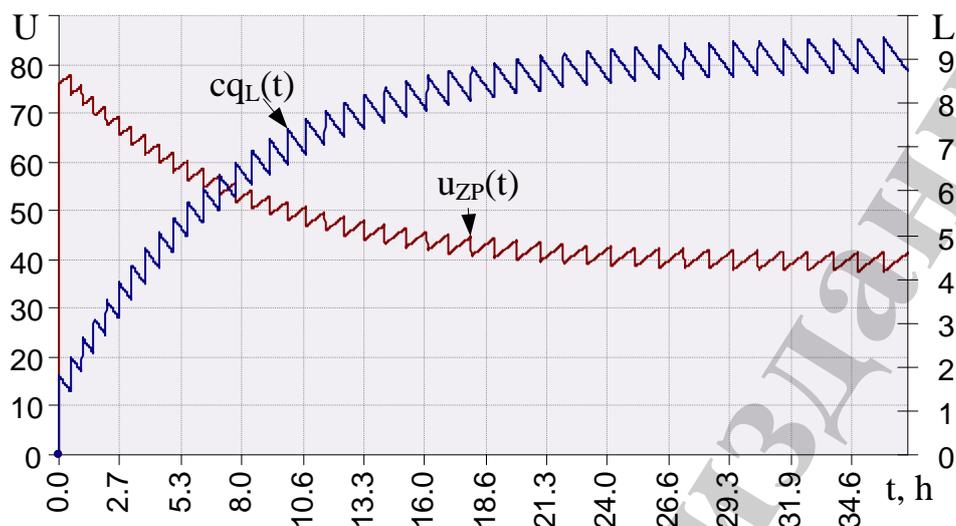


Рис. 15. Диаграммы изменения управления ( $u_{zP}$ ) от уровня запасов механизма буферизации ( $c_{qL}$ )

Видно, что при повышении уровня запасов управление снижает производительность преобразовательной части системы.

В свою очередь, снижение уровня запасов приводит к повышению производительности преобразовательного механизма.

Таким образом, синтезированная система обеспечивает возможность получения на выходе механизма буферизации готовой продукции с заданным качественным параметром в процессе интерактивного взаимодействия с системами контрагентами.

В рамках системы осуществляется идентификация операций преобразования с использованием таких показателей как добавленная ценность и эффективность использования ресурсов.

Управление процессом преобразования изменяется так, что при достижении нижнего уровня запасов механизма буферизации, преобразовательный процесс функционирует в режиме максимальной производительности и эффективности. Благодаря этому ускоряется выход из зоны возможного дефицита.

При повышении уровня запасов, производительность процессов преобразования снижается, в пределах до максимума добавленной ценности (минимума затрат).

Замена технологического механизма на любой другой однопродуктовый технологический механизм с порционной подачей ПНВ не изменяет структуру синтезированной системы.

Действующая модель синтезированной системы доступна по ссылке [42].

Поскольку модель реализована в среде Visual Basic for Applications, необходимо разрешить использование макросов.

Запуск системы обеспечивается нажатием кнопки Start на листе Дисплей. Изменяя уровень спроса в ячейке D3 листа mGstA от 0.001 до 0.002, по завершению работы можно наблюдать автоматическое изменение управления от изменения уровня запасов на листе mAdpA\_R.

## **5. Обсуждение результатов исследований, связанных с синтезом структуры комплектной функциональной системы**

В работе осуществлен синтез внутренней структуры комплектной функциональной системы. Такая система, в процессе выполнения своей технологической функции, обеспечивает интерактивное взаимодействие внутрисистемных процессов преобразования с процессом буферизации и системным окружением. Именно благодаря такому взаимодействию обеспечивается возможность получения необходимых степеней свободы управления.

На примере процесса нагрева, исследования осуществлялись для класса систем с порционной подачей входных технологических продуктов. Таким образом, не рассматривался класс систем с непрерывной подачей продуктов направленного воздействия. По этой же причине не исследовались вопросы, связанные с устойчивостью, поскольку в системах данного класса вопросов с устойчивостью не возникают.

Параметры системы нагрева определялись таким образом, чтобы область допустимых управлений перекрывала весь диапазон рентабельных управлений. В свою очередь, параметры системы буферизации выбирались так, чтобы в режиме максимального спроса не было дефицита готовой продукции.

В условиях модернизации уже существующих технологических комплексов такая возможность не всегда может быть реализована. Так, экстремум минимума затрат и/или максимума эффективности может оказаться вне области достижимых управлений. Свои коррективы могут внести фактические параметры механизма буферизации.

Таким образом, предложенный подход может быть полноценно использован в том случае, когда конструктивные параметры всей технологической части выбираются под определенный уровень спроса (определенную производительность). При этом минимум затрат и максимум эффективности должны попадать в область допустимых управлений.

Вопрос выбора параметров оборудования в работе не рассматривался.

Также необходимо отметить, что предложенный подход к синтезу автономно управляемых однофункциональных систем оправдывает себя там, где технологические процессы являются энергоемкими или, в общем случае, ресурсоемкими. В противном случае, попытка выполнять каждую технологическую функцию с помощью отдельной функциональной системы приведет к существенному повышению габаритов оборудования и его чрезмерному удорожанию.

## 9. Выводы

1. Установлено, что непосредственная функциональная связь между технологическими механизмами сужает диапазон эффективных управлений и, соответственно, эффективность использования ресурсов.

2. Синтезирована архитектура комплектной системы, которая отвечает за качественные и количественные параметры выходного системного продукта в процессе интерактивного взаимодействия с системами источниками и приемниками готовой продукции.

3. Синтезирован модуль идентификации диапазона эффективных управлений. Его использование позволяет определить левую и правую границы диапазона допустимых управлений. При этом левая граница диапазона допустимых управлений соответствует максимуму добавленной стоимости, а правая – максимальному значению эффективности использования ресурсов.

4. Синтезирована структура комплектной функциональной системы с порционной подачей входных технологических продуктов. Управление преобразовательным процессом такой системы является функцией уровня запасов механизма буферизации. Скорость изменения управления в системе зависит от изменения уровня спроса на готовую продукцию.

## Литература

1. Drucker P. F. Management: Tasks, Responsibilities, Practices. Harper Collins, 2009. 864 p.
2. Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб.: Питер, 2002. 320 с.
3. Peters T. J., Waterman R. H. In search of excellence (lessons from America's best-run companies). Harper & Row, 1982. 400 p.
4. Барский Л. А., Козин В. З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. 486 с.
5. Александровский Н. М. Элементы теории оптимальных систем автоматического управления. М.: Энергия, 1969. 128 с.
6. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.
7. Новиков Д. А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2016. 160 с.
8. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 344 с.
9. Анохин П. К. Кибернетика функциональных систем. М.: Медицина, 1998. 400 с.
10. Ackoff R., Emery F. On Purposeful Systems: An Interdisciplinary Analysis of Individual and Social Behavior as a System of Purposeful Events. 2nd ed. New York: Aldine Transaction, 2005. 303 p.
11. The Past, Present and Future of Cybernetics and Systems Research / Gershenson C., Csermely P., Érdi P., Knyazeva H., Laszlo A. // Systems connecting matter, life, culture and technology. 2013. Vol. 1, Issue 3. P. 4–13.

12. Stress-Strain State and Plasticity Reserve Depletion on the Lateral Surface of Workpiece at Various Contact Conditions During Upsetting / Kukhar V., Artiukh V., Butyrin A., Prysiashnyi A. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. P. 201–211. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_22)
13. Experimental Research and Method for Calculation of 'Upsetting-with-Buckling' Load at the Impression-Free (Dieless) Preforming of Workpiece / Kukhar V., Artiukh V., Prysiashnyi A., Pustovgar A. // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 33. P. 02031. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302031>
14. Method of Determination of Technological Durability of Plastically Deformed Sheet Parts of Vehicles / Dragobetskii V., Zagirnyak M., Naumova O., Shlyk S., Shapoval A. // *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7, Issue 4.3. P. 92–99. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19558>
15. Tuning supramolecular interactions of cellulose nanocrystals to design innovative functional materials / Moreau C., Villares A., Capron I., Cathala B. // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 93. P. 96–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.028>
16. Lebedev A. The Synthesis of Variable Structure System for the Control of Quadrotor Spatial Motion // *The Synthesis of Variable Structure System for the Control of Quadrotor Spatial Motion*. 2017. Vol. 865. P. 486–491. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.865.486>
17. Асанов А. З., Демьянов Д. Н. Аналитический синтез функционального наблюдателя состояния билинейной динамической системы // *Автометрия*. 2017. № 4. С. 26–34. doi: <https://doi.org/10.15372/aut20170403>
18. Совмещение записывающего пучка с осью вращения дифракционной структуры при синтезе дифракционных оптических элементов в полярной системе координат / Шиманский Р. В., Полещук А. Г., Корольков В. П., Черкашин В. В. // *Автометрия*. 2017. № 2. С. 30–38. doi: <https://doi.org/10.15372/aut20170203>
19. Effective Technological Process of Crystallization of Turning Rollers' Massive Castings: Development and Analysis / Skoblo T., Klochko O., Belkin E., Sidashenko A. // *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2017. Vol. 2, Issue 3. P. 34–39. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijmpem.20170203.12>
20. Abbas M., ElMaraghy H. Functional Synthesis of Manufacturing Systems Using Co-platforming // *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 52. P. 102–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.069>
21. Tsybulkin G. A. Synthesis of structure of system for self-regulation of electrode melting rate // *The Paton Welding Journal*. 2017. Vol. 2017, Issue 7. P. 2–5. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.07.01>
22. Guarino P. The Universal Type Structure with Unawareness for Conditional Probability Systems // *SSRN Electronic Journal*. 2016. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3069468>
23. Immediate effects of EVA midsole resilience and upper shoe structure on running biomechanics: a machine learning approach / Onodera A. N., Gavião

Neto W. P., Roveri M. I., Oliveira W. R., Sacco I. C. // PeerJ. 2017. Vol. 5. P. e3026. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.3026>

24. Tsao Y.-C. Channel coordination under two-level trade credits and demand uncertainty // Applied Mathematical Modelling. 2017. Vol. 52. P. 160–173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.07.046>

25. Approach of a Predictive, Cybernetic Power Distribution Management / Kohler T., Froeschl J., Bertram C., Buecherl D., Herzog H.-G. // World Electric Vehicle Journal. 2010. Vol. 4, Issue 1. P. 22–30. doi: <https://doi.org/10.3390/wevj4010022>

26. Кобилін П. О. Функціонально-компонентна структура системи торговельного обслуговування населення // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія. 2017. № 46. С. 92–100. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-13>

27. Assimakopoulos N. A., Dimitriou N. K., Theocharopoulos I. C. Business intelligence systems for Virtual Enterprises: a cybernetic approach // International Journal of Applied Systemic Studies. 2010. Vol. 3, Issue 4. P. 374. doi: <https://doi.org/10.1504/ijass.2010.038349>

28. Development of system operations models hierarchy on the aggregating sign of system mechanisms / Lutsenko I., Fomovskaya E., Vikhrova E., Serdiuk O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 3, Issue 2 (81). P. 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71494>

29. Lutsenko I., Fomovskaya E. Identification of target system operations. The practice of determining the optimal control // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. Vol. 6, Issue 2 (78). P. 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54432>

30. Lutsenko I. Classification of systems and system entities // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Issue 12. P. 12–17.

31. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. М., 1987. 712 с.

32. Залогов В. А., Нагорный В. М., Нагорный В. В. Контроль динамического состояния металлообрабатывающей технологической системы и прогнозирование её ресурса. Сумы: Сумский государственный университет, 2016. 242 с.

33. Lutsenko I., Fomovskaya E. Synthesis of cybernetic structure of optimal spooler // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Issue 9. P. 297–301.

34. Михайлов В. В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. М., 1973. 167 с.

35. Lutsenko I. A. Developing a General Control Criterion for Complex Systems // Cybernetics and Systems Analysis. 2005. Vol. 41, Issue 5. P. 789–792. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-006-0016-4>

36. Разработка метода верификации критерия для оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами / Луценко И. А., Фомовская Е. В., Оксанич И. Г., Сердюк О. Ю. // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2017. № 3. С. 161–174. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-3-18>

37. Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters / Lutsenko I., Fomovskaya E., Oksanych I., Vikhrova E., Serdiuk O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1, Issue 4 (85). P. 24–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91025>
38. Development of a verification method of estimated indicators for their use as an optimization criterion / Lutsenko I., Fomovskaya E., Oksanych I., Koval S., Serdiuk O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 2, Issue 4 (86). P. 17–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95914>
39. Development of test operations with different duration in order to improve verification quality of effectiveness formula / Lutsenko I., Fomovskaya O., Vihrova E., Serdiuk O., Fomovsky F. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 4 (91). P. 42–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121810>
40. Development of the method for modeling operational processes for tasks related to decision making / Lutsenko I., Oksanych I., Shevchenko I., Karabut N. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 2, Issue 4 (92). P. 26–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126446>
41. Development of the method of quasi-optimal robust control for periodic operational processes / Lutsenko I., Fomovskaya E., Koval S., Serdiuk O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4, Issue 2 (88). P. 52–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107542>
42. DualSystem. URL: <https://www.dropbox.com/s/nf1a5eckk5vtxqb/DualSystem.xls?dl=0>