

UDC 62-1/-9.007.005.1:62-503.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36246

Запропоновано архітектуру технологічної підсистеми, особливістю якої є наявність максимальної кількості ступенів свободи. Це забезпечує можливість незалежної зміни всіх важливих параметрів технологічного процесу. Вбудовані можливості оцінки економічних параметрів технологічної операції вирішують завдання оптимізації технологічного процесу за критерієм ефективності використання ресурсів. Всі рішення перевірені з використанням спеціального системного конструктора EFLI

Ключові слова: технологічна підсистема, структура оптимальної технологічної підсистеми, оптимізація технологічного процесу

Предложена архитектура технологической подсистемы, особенностью которой является наличие максимального количества степеней свободы. Это обеспечивает возможность независимого изменения всех значимых параметров технологического процесса. Встроенные возможности оценки экономических параметров технологической операции решают задачу оптимизации технологического процесса по критерию эффективности использования ресурсов. Все решения проверены с использованием специального системного конструктора EFLI

Ключевые слова: технологическая подсистема, структура оптимальной технологической подсистемы, оптимизация технологического процесса

СИСТЕМОТЕХНИКА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ. РАЗРАБОТКА ОБЩЕЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ (ЧАСТЬ 2)

И. А. Луценко

Доктор технических наук, доцент, профессор
Кафедра электронных аппаратов
Кременчугский национальный
университет им. М. Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, Украина, 39600
E-mail: delo-do@i.ua

1. Введение

В [1] была разработана базовая структура системы преобразования с порционной подачей продуктов sTransA на примере системы нагрева жидкости. В чём особенность этой структуры?

Во-первых, система преобразования решает одну простую задачу - преобразования входных сырьевых продуктов в выходной продукт. В демонстрационном примере это преобразование холодной жидкости в нагретую жидкость.

Необходимо обратить внимание на фразу «выходной продукт». Это именно выходной продукт, а не готовый продукт, поскольку система преобразования отвечает только за качественный показатель продукта преобразования. За возможность отбора потребителем готового продукта с требуемыми количественными параметрами отвечает система буферизации управляемой системы sSepA1.

Во-вторых, система преобразования реализует принцип порционного преобразования сырьевых продуктов. На выходе системы преобразования не может быть в принципе получен непрерывный готовый продукт. Такой продукт может быть получен на выходе системы буферизации.

В-третьих, в системе преобразования реализуется принцип независимой подачи объемов сырьевых продуктов от интенсивности подачи энергетического продукта. А, следовательно, в системах преоб-

разования, сформированных по такому принципу, потенциально возможна полноценная реализация технологий оптимального управления. Однако, только потенциально.

Для практической реализации принципов оптимального управления базовая структура системы преобразования должна быть дополнена необходимыми структурами, которые обеспечивают выдачу информационных сигналов о величине полученного целевого продукта и значении критерия оптимизации для проведенной технологической операции (ТО).

Понятие «оптимальный» (наилучший), очень часто, и это мягко сказано, трактуется исследователями достаточно произвольно. Кто-то считает что наилучшее управление – это управление по минимуму затрат, другие считают наилучшим управление с максимальной скоростью перемещения управляемого объекта, очень многие минимизируют энергопотребление и т. д.

В действительности у этого понятия нет «степеней свободы». Оптимальным является управление, при котором обеспечивается генерирование максимальной добавленной стоимости, что приводит к максимуму прибыли предприятия в целом, если оптимизация, по критерию эффективности, охватывает все системы такого предприятия.

Данная работа направлена на разработку кибернетической структуры технологической подсистемы, которая способна обеспечить такую оптимизацию.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Принцип определения базовых показателей технологического процесса (ТП) по результатам контроля его параметров, с целью попытки реализации принципов оптимального управления, использовался всегда, а в специальной литературе активно начал обсуждаться со середины 19 века. Однако, неадекватная модель технологической подсистемы преобразования (ТПП) (без учета процесса износа) приводила к ложным выводам. Такое, например, высказывание, является достаточно типичным и до сих пор не потеряло «актуальности»: «Следовательно, работу цепи аппаратов обогащения можно оптимизировать без непосредственного учета экономических показателей. Достаточно обеспечить максимальный выпуск концентрата с учетом ограничений, действующих в объекте, что обеспечит максимальную прибыль» [2].

Такой подход в советских научных школах, да и не только, привёл к развитию целых направлений, где вопросы оценки технологических процессов сводились к оценке скорости (производительности) ТПП [3, 4]. Соответственно, это нашло отражение в модели технологической подсистемы, режимы которой прямо не связаны с экономическими показателями.

Развитие вычислительной техники привело к появлению ряда публикаций, где задача оптимизации формулировалась как процесс определения минимума затрат [5]. Но затраты можно определить как по отдельному технологическому процессу, так и по отношению к более крупным структурам предприятия, что кажется проще. Как видно из описания стандарта MRP II, усилия стандартизации больше направлены, скорее на структуру предприятия в целом, чем на системы [6] из которых оно состоит.

Неудачи в попытках использования управления по минимуму затрат привели к тому, что модели ТПП, как правило, разрабатываются с опорой на физико-химические аспекты функционирования процессов [7].

Немаловажным фактором, мешающим набирать статистику данных для принятия управленческих решений непосредственно в рамках ТПП, являются погрешности измерений количественных параметров продуктов преобразования. Это веская причина использовать критерий оптимизации, поскольку использование прямых методов определения оптимума требует на порядки большего количества экспериментов с учетом необходимости обработки «облака» измерений [8].

Проблемы, связанные с отсутствием кибернетической структуры ТПП, приводят к попыткам создания генетических алгоритмов [9]. Ожидается, что такой алгоритм сам, в процессе эволюции, генерирует оптимальную структуру ТПП.

3. Цель и задачи работы

Целью данной работы является разработка архитектуры ТПП, которая обеспечивает не только формирование выходного потребительского продукта, но и формирования информационных продуктов отображающих абсолютный и относительный показатели степени достижения цели управления.

Задачами, решить которые необходимо для достижения поставленной цели, выбраны:

- формирование базовых подсистем системы преобразования;
- создание механизмов надстройки подсистемы управления, позволяющей тестировать возможности технологической подсистемы преобразования продуктов и вводимых механизмов;
- формирование ТПП, обеспечивающей возможности экстремального (оптимального) управления.

4. Формирование базовых подсистем системы преобразования

Синтез базовой внутренней структуры системы преобразования [1] позволяет перейти к формированию подсистем этой системы. В существующих научных и инженерных работах связанных с исследованием внутренней структуры кибернетической системы отсутствует описание приемлемой концепции отнесения того или иного объекта системы к её подсистемам.

Опыт практического укрупнения внутренних объектов исследуемых систем показывает, что наиболее естественным является укрупнение внутренних объектов системы по принципу интенсивности взаимодействия этих объектов между собой. То есть, структуры, между которыми осуществляется интенсивный обмен данными, не должны находиться в разных подсистемах.

Это вполне естественно, поскольку опыт показывает, что сотрудников, интенсивно взаимодействующих между собой по рабочим моментам, эффективней размещать в одном кабинете.

В сформированной системе [1] синтезированные механизмы обеспечивают функционирование технологического процесса (ТП) и процесса управления. Это означает, что в рамках системы преобразования необходимо сформировать две подсистемы: технологическую подсистему и подсистему управления.

Исходя из объектно-ориентированного принципа, механизм $mTmrgA1$ и механизмы, которые непрерывно контролируют параметры технологического процесса ($mFinA1$, $mCmpA1$, $mFinA2$), должны быть отнесены к технологической подсистеме. Все остальные – к подсистеме управления.

В таком случае за один цикл функционирования системы по каналам RTF-RTF, RED-RED и PTF-PTF (рис. 1) передается по одному единичному импульсному сигналу.

Сигнал, который передается по каналу RTF-RTF, сообщает подсистеме управления о завершении поступления сырьевого продукта в механизм буферизации объекта $mTmrgA1$.

Сигнал, который передается по каналу RED-RED, сигнализирует подсистеме управления о том, что качество продукта преобразования достигло установленного значения.

И, наконец, сигнал, передаваемый по каналу PTF-PTF, сигнализирует о том, что готовый продукт передан в систему буферизации.

Объединив механизмы $mTmrgA1$, $mFinA1$, $mCmpA1$ и $mFinA2$ в технологическую подсистему $sbTransA$, а ме-

ханизмы mPassA1, mPassB1 и mGstB1 в подсистему управления sbContrA1, получим возможность представить систему нагрева в виде двух подсистем – технологической подсистемы и подсистемы управления (рис. 2).

Поскольку блок управления не является целостным объектом, термин **система управления**, по-видимому, является некорректным. Использование его может быть оправдано только исторически сложившейся практикой.

Архитектура базовой системы sTransA имеет большие возможности по отношению к возможности установки различных управлений. Так, мы можем управлять интенсивностью подачи энергетического продукта, можем изменять объем подачи сырьевого продукта (холодной жидкости). При этом качество выходного продукта будет неизменным, в рамках определенного диапазона управлений.

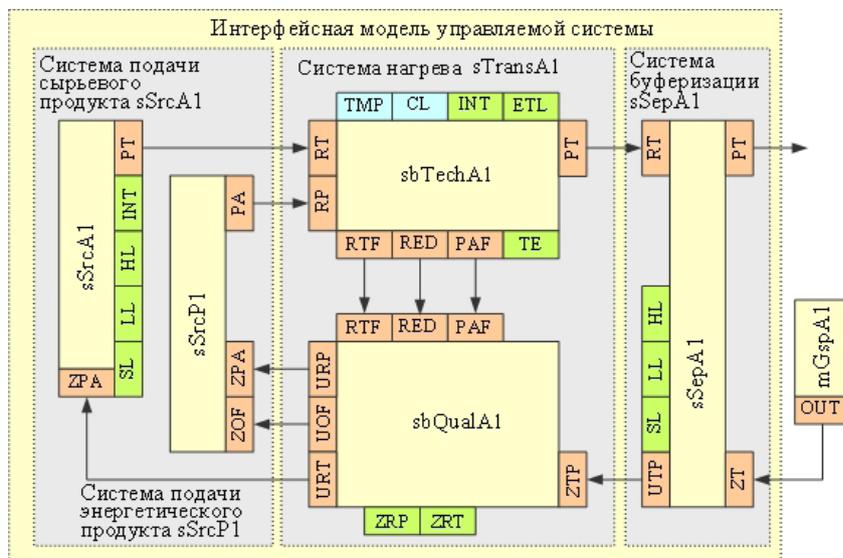


Рис. 2. Интерфейсная модель управляемой системы, система преобразования которой представлена в виде подсистемы нагрева жидкости и подсистемы управления

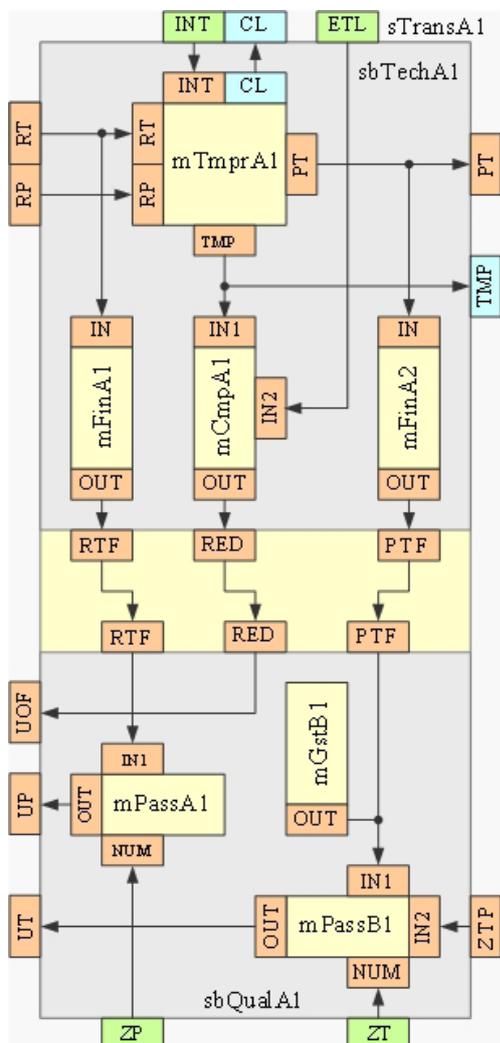


Рис. 1. Результат укрупнения внутренней структуры исследуемой системы по объектно-ориентированному принципу

Но, реализовать потенциал системы по отношению к формированию целевого продукта не получится, если нет возможности контролировать время ТО, количественные параметры входных и выходных продуктов ТО, интегрировать их, приводить к сопоставимым стоимостным величинам и использовать эту информацию для формирования критерия оптимального управления.

Развитые управляемые системы должны не только формировать потребительский продукт, с требуемыми качественными и количественными параметрами, но и обеспечивать максимизацию целевого продукта (добавленной стоимости в экономических системах или добавленной ценности в кибернетических системах).

5. Исследование режимов управления

5.1. Создание дополнительных объектов

Рассмотрим, как в исследуемой системе изменяется расход энергетического продукта в процессе управления и время технологической операции.

Для проведения исследования были созданы дополнительные объекты **EFFLI**: линейный сканер диапазона управлений, интегратор со сбросом, таймер, генератор отчетов.

5.1.1. Линейный сканер диапазона управлений mScanB

Линейный сканер диапазона управлений mScanB предназначен для автоматического изменения сигналов управления с заданным направлением изменения и заданным шагом в определенном диапазоне. Интерфейсная модель сканера управлений изображена на рис. 3.

Назначение секций порта mScanB приведено в табл. 1. Первые пять параметров задаются перед началом процесса управления.

Если в секции DIR установлено нулевое значение, управление изменяется от меньшего значения (установленного в секции MIN), к большему значению

(установленному в секции MAX). Единичный уровень в секции DIR приводит к изменению управления от большего значения к меньшему.

Таблица 1

Назначение секций порта mScanB

Назначение порта	Обозначение
Минимальное значение сигнала управления	MIN
Максимальное значение сигнала управления	MAX
Шаг изменения управления	STP
Направление сканирования диапазона управлений	DIR
Остановка системы при отработке диапазона управлений	STS
Стробирующий сигнал	STR
Сигнал управления	OUT
Сигнал достижения границы диапазона управлений	RPT

Шаг управления устанавливается в секции STP.

Установка сигнала единичного уровня в секции STS обеспечивает прекращение функционирования управляемой системы после достижения границы управления.

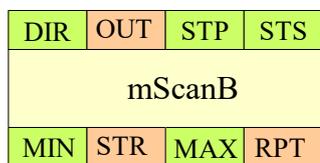


Рис. 3. Интерфейсная модель линейного сканера диапазона управлений mScanB в виде объекта EFLI

Изменение сигнала управления в секции OUT происходит при попадании стробирующего сигнала единичного уровня в секцию порта STR.

5. 1. 2. Таймер mTimerA

Время технологической операции (ТО) является необходимым параметром для решения задачи оптимального управления и для его определения создан таймер mTimerA. Интерфейсная модель таймера изображена на рис. 4.

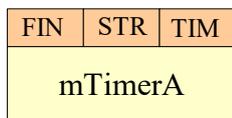


Рис. 4. Интерфейсная модель таймера mTimerA в виде объекта EFLI

Назначение секций порта таймера mTimerA приведено в табл. 2.

Таблица 2

Назначение секций порта таймера mTimerA

Назначение порта	Обозначение
Запуск таймера	STR
Остановка таймера	FIN
Измеренный интервал времени	TIM

5. 1. 3. Интегратор mIntA

Для определения расхода энергетического продукта необходим механизм, который обеспечит преобразование энергетического потока в объем энергопотребления. Для этих целей создан интегратор со сбросом mIntA. Интерфейсная модель интегратора изображена на рис. 5.



Рис. 5. Интерфейсная модель интегратора mIntA в виде объекта EFLI

Назначение секций порта интегратора mIntA приведено в табл. 3.

Таблица 3

Назначение секций порта интегратора mIntA

Назначение порта	Обозначение
Входной сигнал	IN
Выходной сигнал	OUT
Сигнал сброса интегратора	RES

5. 1. 4. Генератор отчетов mBaseA

Данные, необходимые для анализа, полученные в процессе функционирования управляемой системы должны быть представлены в удобном для восприятия виде. Для этих целей создан генератор отчетов mBaseA. Интерфейсная модель генератора отчетов изображена на рис. 6.

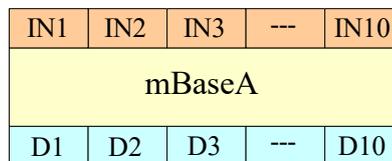


Рис. 6. Интерфейсная модель генератора отчетов mBaseA в виде объекта EFLI

Назначение секций порта генератора отчетов mBaseA приведено в табл. 4.

Таблица 4

Назначение секций порта генератора отчетов mBaseA

Назначение порта	Обозначение
Номер записи	NUM
Стробирующий сигнал	STR
Входной сигнал 1	IN1
Входной сигнал 2	IN2
-----	----
Входной сигнал 10	IN10
Выходной сигнал 1	OUT1
Входной сигнал 2	OUT2
-----	-----
Входной сигнал 10	OUT10

В ходе очередной операции сигналы, попадающие во входную секцию, сохраняются, и по завершении опера-

ции (по приходу стробирующего сигнала) передаются на выход, после чего, при необходимости, выводятся на лист отчета. Секция NUM генерирует номер операции.

5. 2. Модель управляемой системы с возможностью определения дополнительных параметров

Собранная модель (рис. 7) в программном конструкторе в виде объектов EFFLI позволяет отображать процесс изменения объемов энергопотребления операций и изменения времени ТО в процессе изменения управления.

Данные результатов функционирования управляемой системы в виде диаграмм изменения энергопотребления и времени ТО изображены на рис. 8, 9.

Как видно из временных диаграмм, с увеличением интенсивности подачи энергетического продукта снижается время ТО и энергетические затраты на ее осуществление.

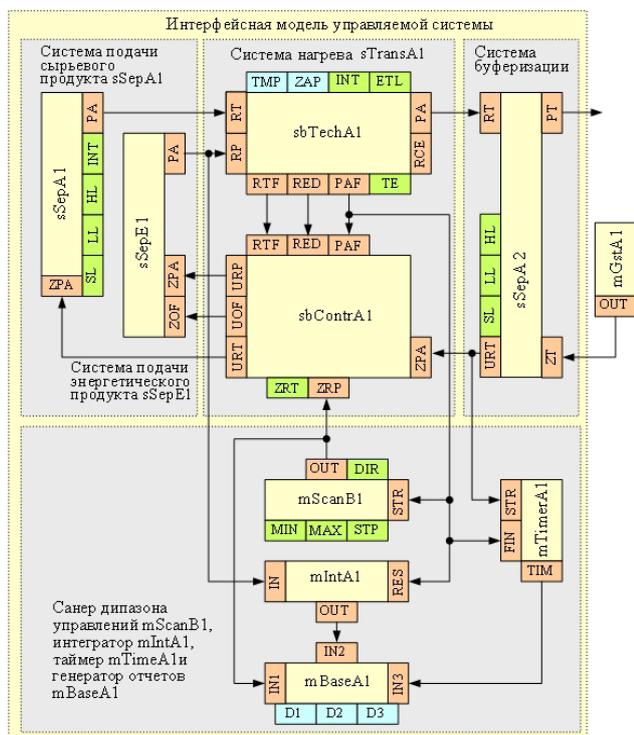


Рис. 7. Архитектура управляемой системы для исследования влияния режимов управления на расход энергетического продукта и время операции

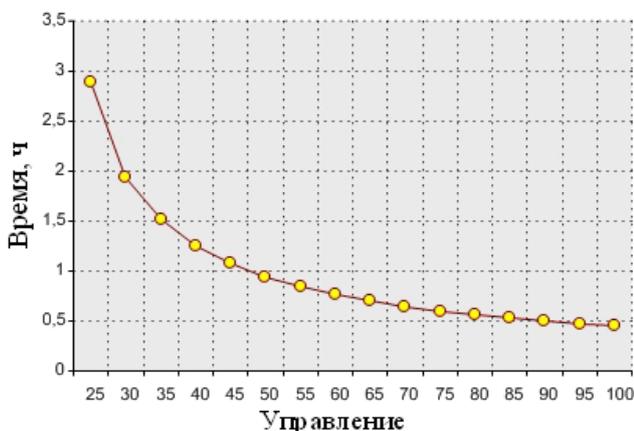


Рис. 8. Изменение времени операций от управления

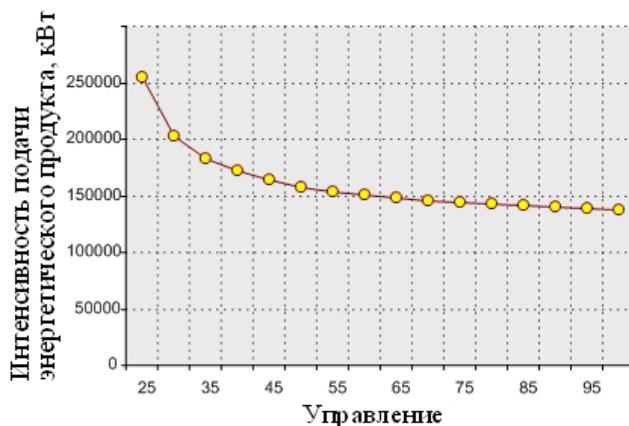


Рис. 9. Изменение энергопотребления операций от управления

Исходя из анализа данных временных диаграмм, создается впечатление, что чем выше интенсивность подачи энергетического продукта, тем лучше экономические показатели ТО.

5. 3. Разработка структуры технологической подсистемы с возможностью оптимизации

Физический механизм отображенных выше процессов понятен. Чем выше интенсивность подачи энергетического продукта, тем быстрее нагревается жидкость, а снижение времени ТО естественным образом приводит к снижению тепловых потерь в процессе нагрева.

Но, в таком случае самым выгодным режимом оказывается режим с максимальной интенсивностью подачи энергетического продукта.

Все это означает только то, что модель ТП нагрева не является совершенной. С повышением скорости процесса нагрева непропорционально растет износ самого механизма нагрева [10]. В соответствии с данным подходом, в разработанной модели ТПП ресурс объекта в зависимости от интенсивности подачи энергетического продукта описывается выражением

$$T = T_n k^{-\alpha},$$

где T – ресурс объекта (время наработки на отказ) при работе в данном режиме; T_n – ресурс объекта при работе в номинальном режиме; k – отношение фактической интенсивности подачи энергетического продукта к интенсивности подачи в номинальном режиме; α – показатель, связанный с используемой технологией преобразования специального продукта.

Для формирования текущего значения интенсивности износа механизма нагрева, был разработан механизм mWearA (рис. 10).

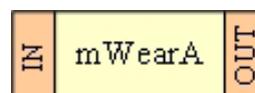


Рис. 10. Механизм формирования сигнала износа нагревателя

При подаче на вход IN данных текущей интенсивности энергетического продукта, mWearA формирует на выходе OUT сигнал интенсивности текущего износа механизма нагрева. Чем выше интенсивность подачи энергетического продукта, тем непропорционально

Назначение секций порта технологической подсистемы sbTechB приведено в табл. 6.

Таблица 6

Назначение секций порта технологической подсистемы sbTechB

Назначение порта	Обозначение
Интенсивность выдачи выходного продукта	INT
Температура окружающей среды	TE
Заданное значение температуры нагрева	ETL
Стоимость единицы сырьевого продукта	RTS
Стоимость единицы энергетического продукта	RPS
Стоимость единицы ресурса оборудования	RWS
Цена единицы выходного продукта	PTS
Сырьевой продукт	RT
Энергетический продукт	RP
Выходной продукт	PT
Начало приема сырьевого продукта	RTB
Завершение приема сырьевого продукта	RTF
Сигнал завершения процесса нагрева	RED
Завершение выдачи выходного продукта	PTF
Время операции	TO
Сумма износа	RWE
Сумма по выходному продукту	PTE
Сумма затрат	RCE
Добавленная стоимость операции	AC
Рентабельность операции	PRT
Эффективность операции	E
Признак наличия потерь пуска	RWM
Объем потребления сырьевого продукта	RTV
Объем потребления Энергетического продукта	RPV
Объем выдачи выходного продукта	PTV
Износ оборудования за время операции	RWV
Текущее значение температуры нагрева	TMP
Уровень загрузки механизма нагрева	CL
Ресурсоемкость	R

Для тестирования настройки ТПП были сняты зависимости износа механизма нагрева и энергопотребления от управления. Характер зависимостей показывает, что в процессе управления экстремум функции затрат будет находиться в рамках выбранного диапазона управлений (рис. 14).

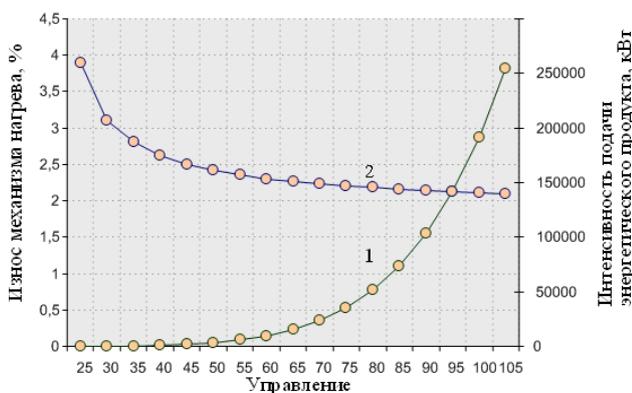


Рис. 14. Диаграммы изменения: 1 - энергетических затрат и 2 — износа технологического оборудования

На рис. 15 представлены временные диаграммы того, как изменяется стоимостная оценка затрат, стоимостная оценка выходного продукта операций и время операций от управления.

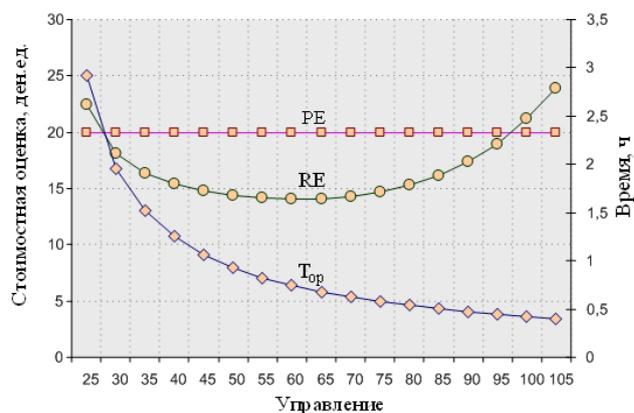


Рис. 15. Диаграммы изменения стоимостной оценки затрат (RE), стоимостной оценки выходного продукта операций (PE) и времени операций от управления (T_{op})

Изменяя стоимостные оценки сырьевого, энергетического и выходного продукта на листах соответствующих объектов, можно наблюдать смещение минимума затрат и линии стоимостной оценки выходного продукта.

Собранную модель *effli_model_2* можно загрузить отсюда [13]. После запуска генератор отчетов формирует данные, по которым строились диаграммы (рис. 14, 15).

7. Выводы

В данной части работы, разработанная ранее структура базовой системы преобразования была разделена на две подсистемы: базовую технологическую подсистему и подсистему управления. Распределение объектов осуществлялось по объектно-ориентированному принципу.

Исследования энергопотребления технологических операций от управления показало необходимость доработки внутренней структуры технологической подсистемы. Принципиально важным является наличие учета износа технологического оборудования, поскольку без этого часто невозможно в принципе определить экстремум потерь или определить его достоверно в остальных случаях.

Выходным продуктом технологической подсистемы, кроме потребительского продукта, всегда имеется целевой продукт (добавленная стоимость), технологическая подсистема должна иметь возможность выдавать информацию о величине этого продукта и значении критерия эффективности. Без этой информации невозможно обеспечить реализацию оптимального управления.

Максимально количество степеней свободы в совокупности с возможностью оценки технологических операций открывает практическую возможность реализации новых, ранее не доступных по эффективности технологий в сфере производства.

References

1. Lutsenko, I. Systems engineering of optimal control I. Synthesis of the structure of the technological product conversion system (Part 1) [Text] / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 6, Issue 2 (72). – P. 28–37. doi: 10.15587/1729-4061.2014.28724
2. Goncharov, Yu. G. Avtomaticheskii kontrol i regulirovanie tehnologicheskikh protsessov na zhelezorudnykh obogatitelnykh fabrikakh [Text] / Yu. G. Goncharov, A. S. Davidkovich, B. E. Geyzenblazen, G. V. Gulenko. – Nedra, 1968. – 227 p.
3. Kagramanyan, S. L. Modelirovanie i upravlenie gornorudnyimi predpriyatiyami [Text] / S. L. Kagramanyan, A. S. Davidkovich, V. A. Malyshev, O. Burenzhargal, Sh. Otgonbileg. – Nedra, 1989. – 360 p.
4. Churakov, E. P. Optimalnyie i adaptivnyie sistemyi [Text] / E. P. Churakov. – Energoatomizdat, 1987. – 256 p.
5. Lee, T. H. Computer process control: modeling and optimization [Text] / T. H. Lee, G. E. Adams, W. M. Gaines. – Wiley, 1968. – 386 p.
6. Gavrilov, D. A. Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP [Text] / D. A. Gavrilov. – Izdatelskiy dom «Piter», 2002. – 320 p.
7. Dzyuzer, V. Ya. Mathematical Support for the CAD Technological Subsystem of a Glass-Melting Furnace [Text] / V. Ya. Dzyuzer, V. S. Shvydkii, V. B. Kut'in // Glass and Ceramics. – 2004. – Vol. 61, Issue 7-8. – P. 211–216. doi: 10.1023/B:GLAC.0000048348.97136.6c
8. Repin, A. I. Diagnostics of the information subsystem of an automatic process control system using artificial intelligence technologies [Text] / A. I. Repin, V. R. Sabanin, N. I. Smirnov, S. N. Andreev // Thermal Engineering. – 2006. – Vol. 53, Issue 6. – P. 476–482. doi: 10.1134/S0040601506060152
9. Bezhitskiy, S. S. Vyibor optimalnoy strukturyi apparatno-programmnogo kompleksa sistemyi upravleniya dvizheniem avtomobilnogo transporta [Text] / S. S. Bezhitskiy // Vestnik universitetskogo kompleksa. – 2005. – Vol. 6, Issue 20. – P. 168–173.
10. Mihaylov, V. V. Nadezhnost elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Text] / V. V. Mihaylo. – Energiya, 1973. – 167 p.
11. Lutsenko, I. Identification of target system operations. Determination of the time of the actual completion of the target operation [Text] / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. - Vol. 6, Issue 2 (72). – P. 42–47. doi: 10.15587/1729-4061.2014.28040
12. Sposib selektsiyi ob'ektiv : Patent 59203 Ukraina [Text] / Lutsenko I. A. – MKI G06K 9/00; zayavitel i patentoobladatel Lutsenko I. A. – 20021210028; zayavl. 12.12.2002; opubl. 15.11.2005, Byul. 11. – 1 p.
13. Lutsenko, I. A. Samples [Electronic resource] / I. A. Lutsenko. – Krivoy Rog, 2014. – Available at: <http://uk.egli.info/index.php/systems-engineering-samples>