

УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 001.4

Луценко И. А.¹, Фомовская Е. В.², Оксанич И. Г.³, Сердюк О. Ю.⁴

¹Д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электронных аппаратов Кременчугского национального университета им. М. Остроградского, Кременчуг, Украина

²Канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой электронных аппаратов Кременчугского национального университета им. М. Остроградского, Кременчуг, Украина

³Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета им. М. Остроградского, Кременчуг, Украина

⁴Аспирант кафедры компьютерных систем и сетей ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог, Украина

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЕРИФИКАЦИИ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Актуальность. Решена актуальная задача верификации критерия для оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами.

Цель работы – создание метода верификации оценочных критериев, обладающих высокой избирательностью и позволяющих исключить из рассмотрения те показатели, которые обеспечивают противоречивые результаты по отношению к результатам частных критериев эффективности.

Метод. Предложен метод верификации глобального критерия для оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами продуктовых потоков, который основан на формировании классов эталонных операций, идентифицированных с использованием частных критериев эффективности, которые, в свою очередь, основаны на использовании выявленных особенностей вторых интегральных параметров от интегральных функций входа и выхода глобальной модели операции, адекватность которых математически доказана, обеспечивая тем самым отбор показателя, оценочные особенности которого позволяют согласовать результаты операционной деятельности управляемых систем с целью их владельца за счет выхода в режим управления соответствующего максимуму эффективности использования ресурсов.

Результаты. Разработан алгоритм реализации метода верификации оценочных показателей, который был использован при проведении вычислительных экспериментов связанных с иллюстрацией возможностей предложенного метода.

Выводы. Впервые разработано три класса эталонных моделей операций с распределенными параметрами, каждая из которых идентифицирована с использованием частного критерия эффективности.

Разработка предложенного метода позволяет осуществлять обоснованный выбор единого показателя для использования в качестве глобального критерия оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами любых систем, процессы которых этого требуют. Возможность выбора адекватного критерия оптимизации обеспечит повышение темпов развития производственных структур.

Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность предложенного метода, реализованного в виде алгоритма, что позволяет рекомендовать его специалистам – практикам для отбора оценочного критерия из множества показателей, которые предлагаются исследователями в качестве критерия оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами. Показатель, который успешно прошел верификацию, обеспечивает возможность согласования параметров операционного процесса с целью владельца (суперсистемы). При этом, предполагается, что целью суперсистемы является максимизация собственных возможностей, прямо связанных с эффективностью использования доступных ресурсов.

Ключевые слова: критерий оптимизации, верификация показателей, эталонная модель операции, операции с распределенными параметрами, оценка эффективности операций.

НОМЕНКЛАТУРА

ТО – время операции;

ЧКЭ – частный критерий эффективности;

r_i – вид модели i - входного продуктового потока;

$rq_i(t)$ – количественный параметр модели i - входного продуктового потока;

i – количество входных продуктов операции;

rs – экспертная (стоимостная) оценка единицы количественного параметра $rq_i(t)$;

$re_i(t)$ – текущее значение экспертной (стоимостной) оценки модели потока $rq_i(t)$;

$re(t)$ – глобальная функция входа;

t_{sr} – момент начала подачи первого входного продуктового потока;

t_{fr} – момент завершения выдачи последнего входного продуктового потока;

IRE – параметр интегральной оценки глобальной функции входа $re(t)$;

VRE – параметр интегральной оценки от интегральной функции входа $ire(t)$;

p_j – вид модели j - выходного продуктового потока;

$pq_j(t)$ – количественный параметр модели j -выходного продуктового потока;

j – количество выходных продуктов операции;

ps – экспертная (стоимостная) оценка единицы количественного параметра $pq_j(t)$;

$pe_j(t)$ – текущее значение экспертной (стоимостной) оценки модели потока $pq_j(t)$;

$pe(t)$ – глобальная функция выхода;

t_{sp} – момент начала подачи первого выходного продуктового потока;

t_{fp} – момент завершения выдачи последнего выходного продуктового потока;

IPE – параметр интегральной оценки глобальной функции выхода $pe(t)$;

VPE – параметр интегральной оценки от интегральной функции выхода $ipe(t)$;

$se(t)$ – текущие запасы ценностей для проведения операций;

SE_0 – начальный объем запасов ценностей;

Ψ – модель операции с распределенными параметрами во времени функций $re(t)$ и $pe(t)$;

Θ – модель простой операции с единичной продолжительностью во времени;

RL – абсолютный оценочный показатель;

EL – относительный оценочный показатель;

k – коэффициент добавленной ценности;

t_a – момент времени операции, который определяется из равенства $vre(t) = vpe(t)$;

$vre(t)$ – вторая интегральная функция от функции входа $re(t)$;

$vpe(t)$ – вторая интегральная функция от функции выхода $pe(t)$.

ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы результаты функционирования управляемой системы были максимально согласованы с целью ее владельца (суперсистемы), необходимо оптимизировать процессы управления. В настоящее время функция оптимизации крайне редко автоматизируется и связано это с тем, что в качестве критерия оптимизации используются показатели, возможности которых, как указателей на самое эффективное управление, системно не обосновываются.

Например, широко используется попытка оптимизации по критерию минимума затрат. Однако использование показателя «затраты» в качестве критерия оптимизации, не позволяет максимизировать возможности управления. Если, к примеру, рентабельность операционного процесса составляет 10%, а повышение затрат на 1%, повышает производительность в два раза и снижает добавленную ценность на 1%, то в рамках ранее необходимого интервала времени можно провести две системные операции. При этом каждая такая операция, проведенная с добавленной ценностью 9%, практически ее удвоит за время прошлого операционного процесса.

Таким образом, для решения задачи оптимального управления среди множества показателей, которые определяются исследователями как показатели эффективности или критерии оптимизации, необходимо отобрать именно тот показатель, который позволит максимально точно согласовать результаты процессуальной деятельности управляемой системы с целью суперсистемы.

Для решения этой задачи можно воспользоваться методом верификации, основанным на использовании формальных признаков (первый этап верификации) [1] и создании классов эталонных идентифицированных моделей операций, эффективность которых предварительно определена с использованием ЧКЭ (второй этап верификации) [2].

Частными критериями эффективности в работе определены показатели, каждый из которых обеспечивает возможность рейтинговой оценки эффективности моделей эталонных операций в рамках специально созданного класса таких операций.

Тот верифицируемый показатель, который успешно прошел все множество тестовых заданий на непротиворечивость, с высокой долей вероятности может использоваться в системах автоматического управления в качестве критерия оптимизации.

В настоящее время частные показатели и классы эталонных моделей тестовых операций разработаны для верификации оценочных показателей простых моделей операций [2].

Поскольку реальные процессы имеют распределенные во времени параметры потоков ресурсопотребления и ресурсоотдачи, необходимо разработать ЧКЭ для создания классов эталонных моделей операций, которые позволяют учитывать влияние характера распределенных параметров исследуемых моделей операции на эффективность их операционных процессов.

Использование классов идентифицированных относительно рейтинговой эффективности тестовых операций, обеспечит возможность верификации оценочных показателей с целью выбора лучшего объекта для использования в качестве критерия оптимизации.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для достижения цели необходимо следующее:

1. Доказать, что из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами вида

$$\Psi_1 = [re_1(t), pe_1(t)] \quad \text{и} \quad \Psi_2 = [re_2(t), pe_2(t)], \quad \text{где}$$

$$\int_{t_{sr}}^{t_{fr}} re_1(t) dt = \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} re_2(t) dt, \quad \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re_1(t) dt \right) dt \neq \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re_2(t) dt \right) dt$$

и $pe_1(t) = pe_2(t)$, эффективней будет операция с меньшим значением параметра второй интегральной характеристики функции $re(t)$.

2. Доказать, что из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами вида

$$\Psi_1 = [re_1(t), pe_1(t)] \quad \text{и} \quad \Psi_2 = [re_2(t), pe_2(t)],$$

где $re_1(t) = re_2(t)$, $\int_{t_{sp}}^{t_{fp}} pe_1(t) dt = \int_{t_{sp}}^{t_{fp}} pe_2(t) dt$,

$$\int_{t_{sp}}^{t_{fp}} \left(\int_{t_{sp}}^t pe_1(t) dt \right) dt \neq \int_{t_{sp}}^{t_{fp}} \left(\int_{t_{sp}}^t pe_2(t) dt \right) dt$$

будет операция с большим значением параметра второй интегральной характеристики функции $pe(t)$.

3. Разработать метод формирования классов эталонных синхронизированных операций для верификации показателей, которые предлагаются для отбора критерия оптимизации.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В работе [1] установлено, что формальными признаками показателя для оценки эффективности глобальной модели операции с распределенными параметрами является двойка $(re(t), pe(t))$, а для глобальных моделей простых операций – тройка (IRE, TO, IPE) , где

$$IRE = \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} re(t) dt; \quad TO = t_{fr} - t_{sr}; \quad IPE = \int_{t_{sp}}^{t_{fp}} pe(t) dt.$$

Так, если каждому потоку количественной оценки значимой входной продукции $rq_i(t)$ и выходной про-

дукции $pq_j(t)$ поставить в соответствие его экспертную (стоимостную) оценку rs_i и ps_j , то множество сопоставимых функций входа и выхода можно представить в виде глобальных функций входа $re(t)$, выхода $pe(t)$. При этом, $re_i(t) = rs_i \cdot rq_i(t)$ и $pe_j(t) = ps_j \cdot pq_j(t)$ (рис. 1).

Кроме того, установлено [2], что критерий оптимизации должен обладать чувствительностью к форме распределения функции входа и функции выхода. Высказана гипотеза, что такую чувствительность обеспечивает использование второго интегрального параметра от ин-

тегральной функции входа $\int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re(t) dt \right) dt$ и интеграль-

ной функции выхода $\int_{t_{sp}}^{t_{fp}} \left(\int_{t_{sp}}^t pe(t) dt \right) dt$.

Все системные операции в действительности имеют распределенные во времени потоки входных и выходных продуктов. Приведение модели операции вида $(re(t); pe(t))$ к виду (IRE, TO, IPE) повышает погрешность в определении параметров оптимального управления. Поэтому существует потребность в создании метода верификации, чувствительного к характеру глобальных функций входа и выхода и создания классов эталонных моделей операций с распределенными параметрами.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для доказательства возможности использования второго интегрального параметра функций $re(t)$ и $pe(t)$ в качестве указателей на эффективность исследуемых операций, был разработан метод непрямої оценки эффективности использования доступных ресурсов.

Суть метода состоит в том, что доступные ценности (ресурсы) $se_1(t)$ и $se_2(t)$, одинаковые на начальном этапе ($se_1(t_0) = se_2(t_0)$), по мере необходимости, передаются в системы, которые формируют модели синхронизированных операций вида Ψ_1 и Ψ_2 . При этом, $IRE_1(\Psi_1) = IRE_2(\Psi_2)$, $VRE_1(\Psi_1) \neq VRE_2(\Psi_2)$, а

$$pe_1(t) = pe_2(t), \quad \text{где} \quad VRE_1(\Psi_1) = \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re_{1(\Psi_1)}(t) dt \right) dt,$$

$$VRE_2(\Psi_2) = \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re_{2(\Psi_2)}(t) dt \right) dt.$$

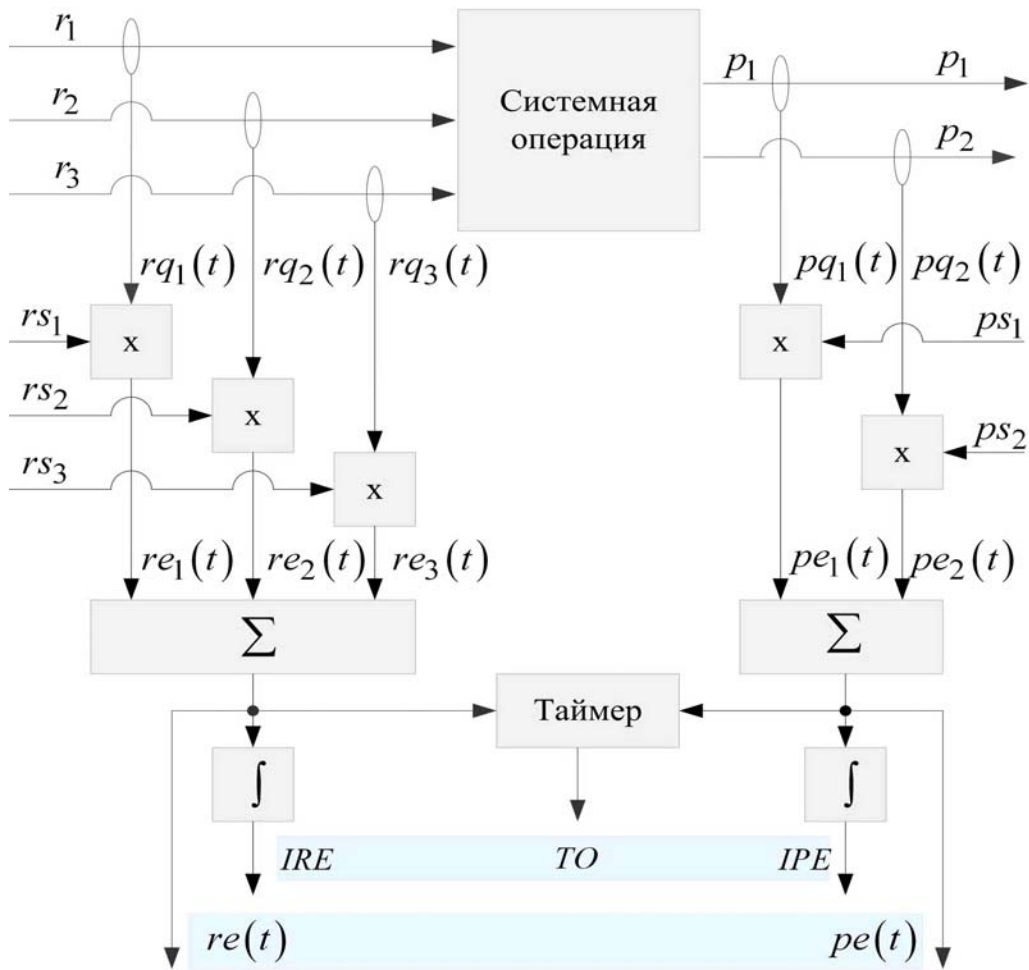


Рисунок 1 – Принцип формирования глобальной модели операции

Принципы реализации метода рассмотрим для случая формирования двух импульсных функций входа $re_{\Psi_1}[n]$ и $re_{\Psi_2}[n]$ операций Ψ_1 и Ψ_2 соответствующими системами.

Остаток доступных ценностей используются системами, которые формируют модели простых равноэффективных операций $\Theta_{1,1}$, $\Theta_{1,2}$ и $\Theta_{2,1}$, $\Theta_{2,2}$ единичной продолжительности. Результаты операций вида Θ_1 доступны системам, которые формируют операции вида Ψ и Θ_2 , при этом системы формирующие операции вида Ψ имеют приоритет в использовании доступных ценностей, а системы формирующие операции вида Θ_2 используют их остаток.

Условие $pe_1[n] = pe_2[n]$ означает, что вид функций $re_1[n]$ и $re_2[n]$, моделей операций вида Ψ_1 и Ψ_2 , не влияет на результат этих операций. Поэтому только результаты операций вида Θ_1 и Θ_2 оказывают влияние на эффективность использования ресурсов $se[n]$.

По отношению к моделям операций с распределенными параметрами понятие «синхронизированные опе-

рации» означает, что все ненулевые значения функций $re_1[n] > 0$ и $re_2[n] > 0$ находятся в рамках интервала времени $[n_{sr}, n_{fr}]$, а все ненулевые значения функций $pe_1[n] > 0$ и $pe_2[n] > 0$ находятся в рамках интервала времени $[n_{sp}, n_{fp}]$ (рис. 2).

Принцип формирования результата от использования доступных ресурсов рассмотрим на примере реализации двух сценариев развития событий (рис. 3).

Функция $se[n]$ отображает объем доступных ценностей в определенный момент времени. В начальный момент времени величина доступных ценностей $SE_0 = 3$ ед.

В момент n_1 для проведения операции Ψ_1 необходимо получение ценностей в размере 1 ед.

Поскольку потребление запасов величиной $RE_{\Psi_{1,1}} = 1$ ед. обеспечивает на момент n_1 остаток средств в размере 2 ед., появляется возможность сформировать простую операцию $\Theta_{1,1}$ с коэффициентом добавленной ценности $k = 1,5$ и единичной продолжительностью во времени.

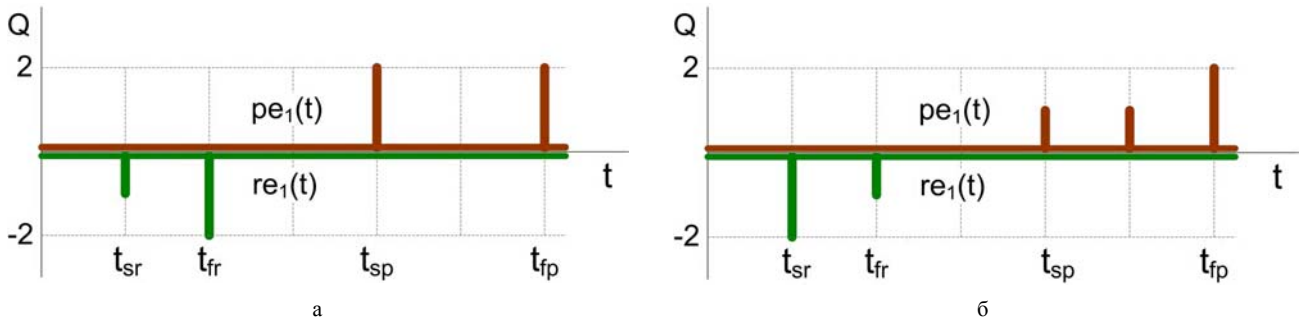


Рисунок 2 – Пример синхронизированных операций а) и б) с распределенными параметрами

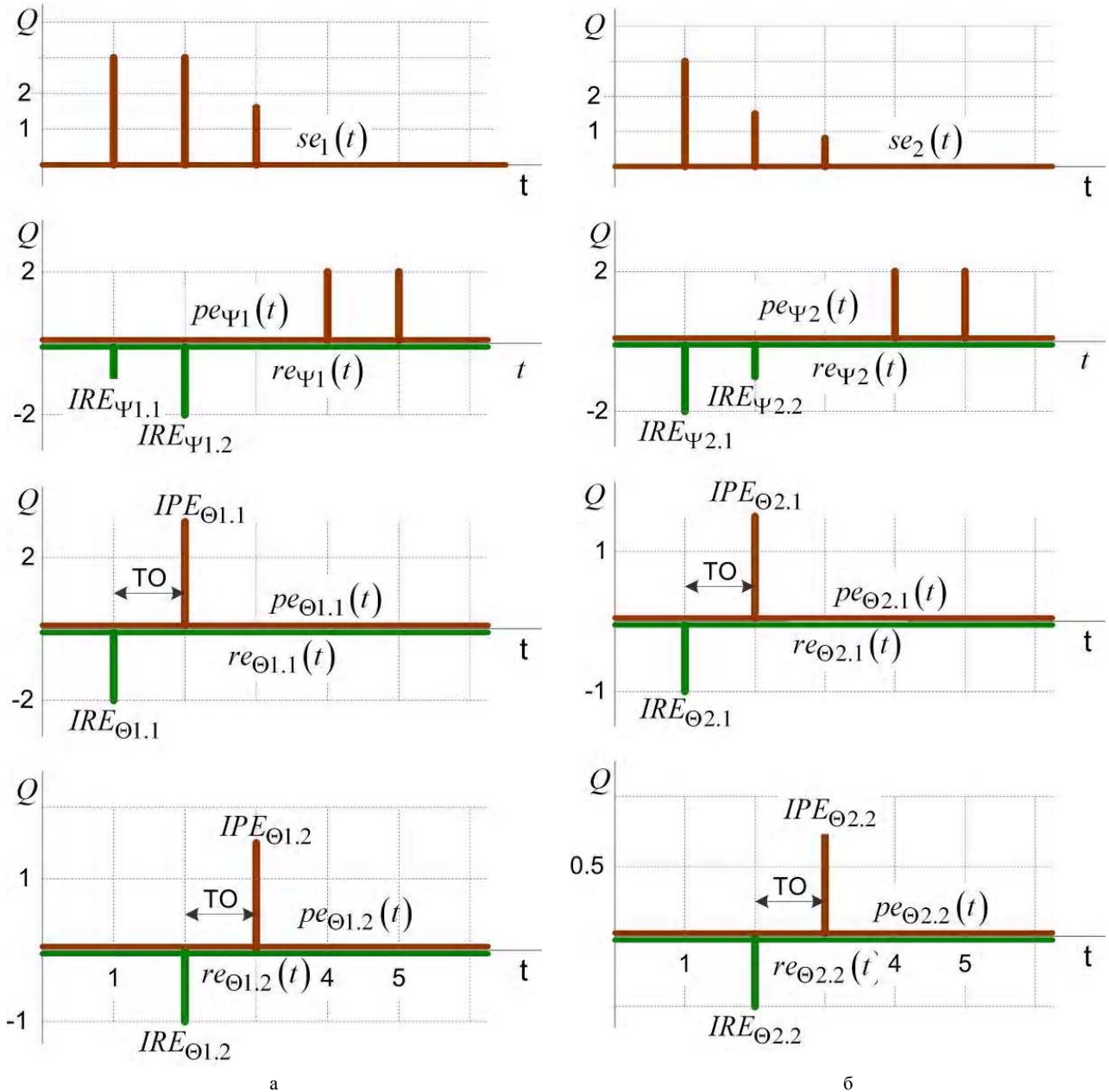


Рисунок 3 – Пример определения эффективности использования ресурсов при характере функции входа операций вида Ψ : а – нарастающем; и б – спадающем

В таком случае, на момент n_2 на выходе операции $\Theta_{1.1}$ формируется выходной продукт операции, ценность которого равна величине $PE_{\Theta_{1.1}} = k \cdot RE_{\Theta_{1.1}} = 1,5 \cdot 2 = 3$ ед.

Таким образом, на момент n_2 становится доступным объем ценностей 3 ед.

При этом часть этой ценности, в эквиваленте, составляющем 1 ед., передается операции Ψ_1 ($RE_{\Psi_{1.2}}=2$). Оставшаяся часть, в размере 1 ед., используется для проведения дополнительной операции $\Theta_{1.2}$.

В результате проведения операции $\Theta_{1.2}$ с $k=1,5$ и $TO=1$, формируется результат $PE_{\Theta_{1.2}} = k \cdot RE_{\Theta_{1.2}} = 1,5 \cdot 1 = 1,5$ ед.

Следовательно, использование текущих запасов, которые остаются после формирования операции Ψ_1 по сценарию (рис. 3а), обеспечило получение ценности в размере 1,5 ед. от проведения простых операций $\Theta_{1.1}$ и $\Theta_{1.2}$.

Аналогичные расчеты, проведенные по сценарию (рис. 3б) с $k=1,5$, когда $IRE_{\Psi_{2.1}}=2$ ед., $IRE_{\Psi_{2.2}} = 1$ ед. показывают, что $IPE_{\Theta_{2.2}} = (IRE_{\Psi_{2.2}} \cdot k - IRE_{\Psi_{2.2}}) \cdot k = 0,75$. Таким образом, развитие событий по варианту (рис. 5а) выгодней для суперсистемы. То есть, характер распределения во времени функции $re_{\Psi}[n]$ влияет на эффективность использования доступных ресурсов $se[n]$.

Покажем, что это справедливо в общем случае, а также то, что второй интегральный параметр от интегральной функции $re[n]$ является указателем на более выгодный вариант развития событий.

Определим показатель второго интегрального параметра от интегральной функции $re[n]$ символами VRE , а показатель второго интегрального параметра от интегральной функции $pe(t)$ символами VPE . Тогда

$$VRE = \int_{t_{sr}}^{t_{fr}} \left(\int_{t_{sr}}^t re(t) dt \right) = \sum_{n_{sr}}^{n_{fr}} \sum_{n_{sr}}^n re[n]; \quad (1)$$

$$VPE = \int_{t_{sp}}^{t_{fp}} \left(\int_{t_{sp}}^t pe(t) dt \right) = \sum_{n_{sp}}^{n_{fp}} \sum_{n_{sp}}^n pe[n]. \quad (2)$$

Теорема 1. Из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами $\Psi_1 = (re_1[n], pe_1[n])$ и $\Psi_2 = (re_2[n], pe_2[n])$, где $IRE_1 = IRE_2$, $VRE_1 \neq VRE_2$ и $pe_1[n] = pe_2[n]$, эффективней будет операция с меньшим значением параметра второй интегральной характеристики функции $re[n]$.

Доказательство 1. Учитывая, что $SE_1 = IRE_{\Psi_{1.1}} + IRE_{\Theta_{1.1}}$, $IRE_{\Theta_{1.1}} = SE_1 - IRE_{\Psi_{1.1}}$, тог-

да $IPE_{\Theta_{1.1}} = k \cdot IRE_{\Theta_{1.1}}$, $IPE_{\Theta_{1.2}} = k \cdot IRE_{\Theta_{1.2}} = k(IPE_{\Theta_{1.1}} - IRE_{\Psi_{1.2}}) = k(k \cdot IRE_{\Theta_{1.1}} - IRE_{\Psi_{1.2}}) = k(k \cdot IRE_{\Psi_{1.2}} - IRE_{\Psi_{1.2}})$.

Если $k=1,5$, $IRE_{\Psi_{1.1}} = x$, $IRE_{\Psi_{1.2}} = 2x$, $(IRE_{\Psi_{1.1}} + IRE_{\Psi_{1.2}}) = IRE_{\Psi_1} = 3x$, $IPE_{\Theta_{1.2}} = 2,25 \cdot 2x - 1,5 \cdot 2x = 1,5x$.

Если $k=1,5$, $IRE_{\Psi_{2.1}} = 2x$, $IRE_{\Psi_{2.2}} = x$, $(IRE_{\Psi_{2.1}} + IRE_{\Psi_{2.2}}) = IRE_{\Psi_2} = 3x$, $IPE_{\Theta_{2.2}} = 2,25x - 1,5x = 0,75x$.

Таким образом, $IRE_{\Psi_{1.1}} < IRE_{\Psi_{2.1}}$, $IPE_{\Theta_{1.2}} > IPE_{\Theta_{2.2}}$.

Анализируя закономерности в изменении внутренней структуры выражения $IPE_{\Theta_{1.i}}$ (табл. 1 столбец 3), можно записать общее выражение для количества продуктов импульсной функции SE_N движения запасов инвестиций на момент N

$$SE_N = k^N \cdot IRE_{\Psi_{1.2}} + k^N \cdot IRE_{\Psi_{1.3}} + \dots + k^N \cdot IRE_{\Psi_{1.i}} - k^{N-1} \cdot IRE_{\Psi_{1.2}} - k^{N-2} \cdot IRE_{\Psi_{1.3}} - \dots - k^{N-i} \cdot IRE_{\Psi_{1.i}} = \sum_{i=1}^N k^N \cdot IRE_{\Psi_{1,i+1}} - \sum_{i=1}^N k^{N-i} \cdot IRE_{\Psi_{1,i+1}},$$

где $N = n_{fr} - n_{sr}$, i – порядковый номер интервала дискретизации ($i_1 = n_{fr}$, $i \in [n_{fr}; n_{sr}]$).

На основании выявления закономерности в изменении внутренней структуры выражения $VRE_{\Psi_{1.i}}$ (табл. 2 столбец 3), можно записать общее выражение для второго интегрального параметра на момент N .

Общее выражение для определения интегрального параметра от интегральной функции $IRE_{\Psi_{1.i}}$ будет иметь вид:

$$VRE_N = N \cdot IRE_{\Psi_{1.1}} + (N-1) \cdot IRE_{\Psi_{1.2}} + (N-2) \cdot IRE_{\Psi_{1.3}} + \dots + IRE_{\Psi_{1.i}} = \sum_{i=1}^N IRE_{\Psi_{1.i}} \cdot (N-i+1).$$

Рассмотрим пример расчета данного показателя для двух выше приведенных случаев доказательства:

1. Если $IRE_{\Psi_{1.1}} = x$, $IRE_{\Psi_{1.2}} = 2x$, $VRE_N = N \cdot IRE_{\Psi_{1.1}} + (N-1) \cdot IRE_{\Psi_{1.2}} = 2 \cdot x + 2x = 4x$

2. Если $IRE_{\Psi_{2.1}} = 2x$, $IRE_{\Psi_{2.2}} = x$, $VRE_N = N \cdot IRE_{\Psi_{2.1}} + (N-1) \cdot IRE_{\Psi_{2.2}} = 2 \cdot 2x + x = 5x$.

Следовательно, $IRE_{\Psi_{1.1}} < IRE_{\Psi_{2.1}}$, $IPE_{\Theta_{1.2}} > IPE_{\Theta_{2.2}}$, $VRE_N < VRE_N$.

Таблица 1 – Изменение выражений для параметров $IRE_{\Theta_{1,i}}$ и $IPE_{\Theta_{1,i}}$ простых операций $\Theta_{1,i}$ в зависимости от величины потребления ресурсов $IRE_{\Psi_{1,i}}$ операции Ψ_1 для $I = 5$

$IRE_{\Psi_{1,i}}$	Изменение выражения для параметра $IRE_{\Theta_{1,i}}$ простых операций $\Theta_{1,i}$ в зависимости от величины $IRE_{\Psi_{1,i}}$ операции Ψ_1
1	2
$IRE_{\Psi_{1,1}}$	$SE - IRE_{\Psi_{1,1}} = IRE_{\Theta_{1,1}}$
$IRE_{\Psi_{1,2}}$	$(SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}} = IRE_{\Theta_{1,2}}$
$IRE_{\Psi_{1,3}}$	$((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}} = IRE_{\Theta_{1,3}}$
$IRE_{\Psi_{1,4}}$	$((((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,4}} = IRE_{\Theta_{1,4}}$
$IRE_{\Psi_{1,5}}$	$(((((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,5}} = IRE_{\Theta_{1,5}}$
1	3
$IRE_{\Psi_{1,1}}$	$(SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k = IPE_{\Theta_{1,1}}$
$IRE_{\Psi_{1,2}}$	$((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k = IPE_{\Theta_{1,2}}$
$IRE_{\Psi_{1,3}}$	$((((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k = IPE_{\Theta_{1,3}}$
$IRE_{\Psi_{1,4}}$	$(((((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k = IPE_{\Theta_{1,4}}$
$IRE_{\Psi_{1,5}}$	$((((((SE - IRE_{\Psi_{1,1}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k - IRE_{\Psi_{1,5}}) \cdot k = IPE_{\Theta_{1,5}}$

Таблица 2 – Изменение выражения определения первой и второй интегральных характеристик по функции входа операции Ψ_1 для $I = 5$

$IRE_{\Psi_{1,i}}$	Изменение выражения для интегрального значения ряда $IRE_{\Psi_{1,i}}$ операции Ψ_1
1	2
$IRE_{\Psi_{1,1}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}}$
$IRE_{\Psi_{1,2}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}} + IRE_{\Psi_{1,2}}$
$IRE_{\Psi_{1,3}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}} + IRE_{\Psi_{1,2}} + IRE_{\Psi_{1,3}}$
$IRE_{\Psi_{1,4}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}} + IRE_{\Psi_{1,2}} + IRE_{\Psi_{1,3}} + IRE_{\Psi_{1,4}}$
$IRE_{\Psi_{1,5}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}} + IRE_{\Psi_{1,2}} + IRE_{\Psi_{1,3}} + IRE_{\Psi_{1,4}} + IRE_{\Psi_{1,5}}$
1	3
$IRE_{\Psi_{1,1}}$	$IRE_{\Psi_{1,1}}$
$IRE_{\Psi_{1,2}}$	$2 IRE_{\Psi_{1,1}} + IRE_{\Psi_{1,2}}$
$IRE_{\Psi_{1,3}}$	$3 IRE_{\Psi_{1,1}} + 2 IRE_{\Psi_{1,2}} + IRE_{\Psi_{1,3}}$
$IRE_{\Psi_{1,4}}$	$4 IRE_{\Psi_{1,1}} + 3 IRE_{\Psi_{1,2}} + 2 IRE_{\Psi_{1,3}} + IRE_{\Psi_{1,4}}$
$IRE_{\Psi_{1,5}}$	$5 IRE_{\Psi_{1,1}} + 4 IRE_{\Psi_{1,2}} + 3 IRE_{\Psi_{1,3}} + 2 IRE_{\Psi_{1,4}} + IRE_{\Psi_{1,5}}$
$IRE_{\Psi_{1,5}}$	$5 IRE_{\Psi_{1,1}} + 4 IRE_{\Psi_{1,2}} + 3 IRE_{\Psi_{1,3}} + 2 IRE_{\Psi_{1,4}} + IRE_{\Psi_{1,5}}$

Поскольку тенденция увеличения последующего значения вложения ценности по отношению к предшествующему вложению в операцию Ψ приводит к увеличению показателя $IPE_{\Theta_{1,N}}$ и к снижению VRE_N , то минимальное значение второго интегрального параметра от интегральной функции $re[n]$ является указателем на лучшую операцию. Теорема доказана.

Теорема 2. Из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами $\Psi_1 = (re_1[n], pe_1[n])$ и $\Psi_2 = (re_2[n], pe_2[n])$, где $re_1[n] = re_2[n]$,

$IPE_1 = IPE_2$, $VPE_1 \neq VPE_2$, эффективней будет операция с большим значением параметра второй интегральной характеристики функции $pe[n]$.

Доказательство 2. Учитывая, что с каждым этапом получения выходной продукции мы получаем дополнительную возможность вложить высвободившиеся ресурсы в качестве добавленной ценности в параллельные операции. Тогда $IPE_{\Psi_{1,1}}$ является входной продукцией $IRE_{\Theta_{1,1}}$, а полученный выходной продукт будет равен $IPE_{\Theta_{1,1}} = k \cdot IRE_{\Theta_{1,1}} = k \cdot IPE_{\Psi_{1,1}}$. В свою очередь, если

имеется второй импульс $IPE_{\Psi_{1,2}}$ операции Ψ , он может быть использован при формировании ресурсов второй параллельной операции Θ , входная продукция которой равна $IRE_{\Theta_{1,2}} = k \cdot IRE_{\Theta_{1,1}} + IPE_{\Psi_{1,2}} = k \cdot IPE_{\Psi_{1,1}} + IPE_{\Psi_{1,2}}$.

Рассмотрим случай, когда $k=1,5$, $IPE_{\Psi_{1,1}} = x$, $IPE_{\Psi_{1,2}} = 2x$, тогда $IPE_{\Theta_{1,2}} = 1,5 \cdot x + 2x = 3,5x$.

Если $k=1,5$, $IPE_{\Psi_{2,1}} = 2x$, $IPE_{\Psi_{2,2}} = x$, $IPE_{\Theta_{2,2}} = 3x + 1,5x = 4,5x$.

Следовательно, $IPE_{\Psi_{1,1}} < IPE_{\Psi_{2,1}}$, $IPE_{\Theta_{1,2}} < IPE_{\Theta_{2,2}}$.

Анализируя закономерности в изменении внутренней структуры выражения $IPE_{\Theta_{1,i}}$ от изменения интервала дискретизации (табл. 3 столбец 3), можно записать общее выражение для количества продуктов импульсной функции SE_N движения запасов инвестиций на момент N

$$SE_N = IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k^N + IPE_{\Psi_{1,2}} \cdot k^{N-1} + IPE_{\Psi_{1,3}} \cdot k^{N-2} + \dots + IPE_{\Psi_{1,N}} \cdot k = \sum_{i=1}^{i=N} IPE_{\Psi_{1,i}} \cdot k^{N-i+1},$$

где $N = n_{fp} - n_{sp}$, i – порядковый номер интервала дискретизации ($i_1 = n_{fp}$, $i \in [n_{fp}; n_{sp}]$).

На основании выявления закономерности в изменении внутренней структуры выражения $VPE_{\Psi_{1,i}}$ (табл. 4 столбец 3), можно записать общее выражение для второго интегрального параметра на момент N

$$VPE_N = N \cdot IPE_{\Psi_{1,1}} + (N-1) \cdot IPE_{\Psi_{1,2}} + (N-2) \cdot IPE_{\Psi_{1,3}} + \dots + IPE_{\Psi_{1,i}} = \sum_{i=1}^N IPE_{\Psi_{1,i}} \cdot (N-i+1).$$

Рассмотрим пример расчета данного показателя для двух случаев доказательства:

1. Если $IPE_{\Psi_{1,1}} = x$, $IPE_{\Psi_{1,2}} = 2x$, $VPE_N = N \cdot IPE_{\Psi_{1,1}} + (N-1) \cdot IPE_{\Psi_{1,2}} = 2 \cdot x + 2x = 4x$

2. Если $IPE_{\Psi_{2,1}} = 2x$, $IPE_{\Psi_{2,2}} = x$, $VPE_N = N \cdot IPE_{\Psi_{2,1}} + (N-1) \cdot IPE_{\Psi_{2,2}} = 2 \cdot 2x + x = 5x$.

Следовательно, $IPE_{\Psi_{1,1}} < IPE_{\Psi_{2,1}}$, $VRE_N < VRE'_N$. Теорема доказана.

Формула общеизвестного показателя, определяемого как прибыль или как добавленная ценность (A) связывает вход, и выход системного процесса с использованием параметров глобальной модели простой операции IRE и $IPE - A = IPE - IRE$.

Для обеспечения чувствительности абсолютного показателя к форме функций $re(t)$ и $pe(t)$, можно попытаться чисто технически обеспечить возможность определения второго интегрального параметра от этих функций для показателя определенного как VA . Для этого обеспечим чувствительность данного показателя путем сопоставления входа и выхода исследуемой глобальной модели операции с использованием ЧКЭ (1) и (2). Тогда

$$VA = VPE - VRE. \tag{3}$$

Определим относительный частный критерий VK – как отношение частного критерия VA к частному критерию VRE :

$$VK = \frac{VA}{VRE}. \tag{4}$$

Адекватность полученных ЧКЭ проверим для случая – оценки равноэффективных моделей операций. Концеп-

Таблица 3 – Изменение выражений для параметров $IRE_{\Theta_{1,i}}$ и $IPE_{\Theta_{1,i}}$ простых операций $\Theta_{1,i}$ в зависимости от величины поступления ресурсов $IPE_{\Psi_{1,i}}$ операции Ψ_1 для $I = 5$

$IPE_{\Psi_{1,i}}$	Изменение выражения для параметра $IRE_{\Theta_{1,i}}$ простых операций $\Theta_{1,i}$ в зависимости от величины $IPE_{\Psi_{1,i}}$ операции Ψ_1	
1	2	
$IPE_{\Psi_{1,1}}$	$IPE_{\Psi_{1,1}}$	
$IPE_{\Psi_{1,2}}$	$IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}$	
$IPE_{\Psi_{1,3}}$	$(IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}$	
$IPE_{\Psi_{1,4}}$	$((IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,4}}$	
$IPE_{\Psi_{1,5}}$	$((((IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,5}}$	
1	3	
$IPE_{\Psi_{1,1}}$	$IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k$	
$IPE_{\Psi_{1,2}}$	$(IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k$	
$IPE_{\Psi_{1,3}}$	$((IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k$	
$IPE_{\Psi_{1,4}}$	$((((IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k$	
$IPE_{\Psi_{1,5}}$	$(((((IPE_{\Psi_{1,1}} \cdot k + IPE_{\Psi_{1,2}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,3}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,4}}) \cdot k + IPE_{\Psi_{1,5}}) \cdot k$	

ція цього теста, основана на принципі еквівалентності операційних процесів.

Пусть имеется три синхронизированные модели глобальных операций Ψ , Θ_1 и Θ_2 , где модели операции и являются эквивалентными (рис. 4).

Если $re_{\Theta_1}[n] + re_{\Theta_2}[n] = re_{\Psi}[n]$, а $pe_{\Theta_1}[n] + pe_{\Theta_2}[n] = pe_{\Psi}[n]$, то модели операций Ψ и Θ_1 или Ψ и Θ_2 априори являются равноэффективными.

Если идентифицировать операции вида Ψ и Θ с использованием относительного ЧКЭ (2), то получим, что $VK_{\Psi} = VK_{\Theta_1} = VK_{\Theta_2} = 0,5$.

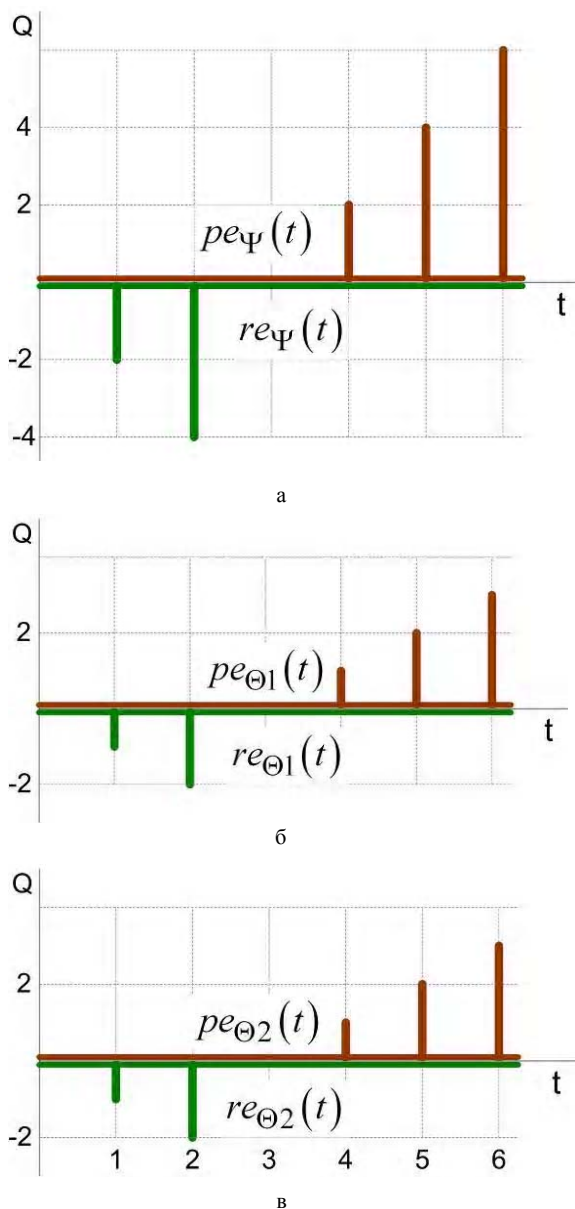


Рисунок 4 – Пример операции с распределенными параметрами $(re_{\Psi}[n], pe_{\Psi}[n])$ а) и равноэффективных синхронизированных с ней операций $(re_{\Theta_1}[n], pe_{\Theta_1}[n])$ б) и $(re_{\Theta_2}[n], pe_{\Theta_2}[n])$ в)

Однако использовать искусственно созданные показатели, которые дают смещенную оценку необходимо крайне осторожно, поскольку исследование функций входа и выхода с использованием второго интегрального параметра осуществляется в рамках интервалов синхронизации. Так, сближение интервалов синхронизации, при прочих равных условиях, априори приводит к повышению эффективности операции. При этом вес функции входа должен ослабевать, а функции выхода возрастать. Поскольку показатели V_A и V_K не обладают чувствительностью к изменению интервала $[t_{fr}; t_{sp}]$, неизвестным является вес вторых интегральных параметров.

Следовательно, показатели V_A и V_K нельзя использовать в задачах рейтинговой оценки эффективности без специального обоснования адекватности оценивания.

Экспериментально установлено, что показатель V_K можно использовать для формирования множества моделей равноэффективных операций типа $(re_1(t), pe_1(t))$ и $(re_2(t) = k \cdot re_1(t), pe_2(t) = k \cdot pe_1(t))$.

Разработаем метод создания классов эталонных моделей, рейтинговая эффективность которых будет определяться с использованием определенных ЧКЭ.

Первый класс эталонных моделей предназначен для верификации чувствительности оценочных показателей к характеру функции $re[n]$. При этом:

1) формируется две последовательности случайных вещественных положительных чисел $re_1[n]$ и $re_2[n]$ для заданного диапазона временного ряда $n \in [n_{rs}, n_{rf}]$;

2) путем масштабирования значений одного из рядов данные приводятся к виду удовлетворяющего условие $IRE_1 = IRE_2$;

3) с использованием рекуррентного выражения формируются интегральные функции $ire_1[n]$ и $ire_2[n]$.

4) с использованием рекуррентного выражения $vre[n] = vre[n-1] + ire[n]$ формируются интегральные функции и $vre_2[n]$.

5) формируется последовательность случайных вещественных положительных чисел $pe_1[n] = pe_2[n]$ для заданного диапазона временного ряда $n \in [n_{ps}, n_{pf}]$ с ограничением $n_{sp} > n_{fp}$ и $IPE > IRE$.

6) с использованием рекуррентного выражения $ipe[n] = ipe[n-1] + pe[n]$ формируются интегральные функции $ire_1[n]$ и $ire_2[n]$.

7) с использованием рекуррентного выражения $vpe[n] = vpe[n-1] + ipe[n]$ формируются интегральные функции $vpe_1[n]$ и $vpe_2[n]$.

8) по минимуму значения полученного с использованием выражения (1) осуществляется рейтинговая оценка эффективности моделей операций.

9) модели $ire_1[n]$ и $ire_2[n]$ оцениваются с использованием верифицируемого показателя.

10) осуществляется оценка непротиворечивости полученного результата, на основании которой принимается решение о необходимости дальнейшего тестирования данного показателя.

Пример формирования тестовых операций и их интегральных характеристик для верификации чувствительности оценочного показателя по входу модели операции изображен в табл. 5

Второй класс эталонных моделей предназначен для верификации чувствительности оценочных показателей к характеру функции $pe[n]$. При этом:

1) формируется последовательность случайных вещественных положительных чисел которая используется для формирования функций $re_1[n] = re_2[n]$ для заданного диапазона временного ряда $n \in [n_{rs}, n_{rf}]$;

3) с использованием рекуррентного выражения формируются интегральные функции $ire_1[n]$ и $ire_2[n]$.

4) с использованием рекуррентного выражения $vre[n] = vre[n-1] + ire[n]$ формируются интегральные функции $vre_1[n]$ и $vre_2[n]$.

5) формируется последовательность случайных вещественных положительных чисел $pe_1[n] = pe_2[n]$ для заданного диапазона временного ряда $n \in [n_{ps}, n_{pf}]$ с ограничением $n_{sp} > n_{fp}$ и $IPE > IRE$.

6) с использованием рекуррентного выражения $ipe[n] = ipe[n-1] + pe[n]$ формируются интегральные функции $ipe_1[n]$ и $ipe_2[n]$.

7) с использованием рекуррентного выражения $vpe[n] = vpe[n-1] + ipe[n]$ формируются интегральные функции $vpe_1[n]$ и $vpe_2[n]$.

8) по минимуму значения полученного с использованием выражения (2), (3), (4) осуществляется рейтинговая оценка эффективности моделей операций.

9) модели $ire_1[n]$ и $ire_2[n]$ оцениваются с использованием верифицируемого показателя.

10) осуществляется оценка непротиворечивости полученного результата, на основании которой принимается решение о необходимости дальнейшего тестирования данного показателя.

Пример формирования тестовых операций и их интегральных характеристик для верификации чувствительности оценочного показателя по выходу модели операции изображен в табл. 6.

На следующем этапе верификации оценочные показатели тестируются на моделях равноэффективных операций. Здесь нет необходимости в генерировании множества пар тестовых операций, поскольку показатели, которые успешно прошли на противоречивость предыдущие тесты, на первой тестовой паре третьего класса эталонных операций сразу проявляют возможность оценивать равноэффективные операции для которых $VRE_1 = k \cdot VRE_2$, что влечет за собой $IPE_1 = k \cdot IPE_2$.

Пример тестовых операций и их интегральных характеристик для тестирования возможностей относительного оценивания верифицируемых показателей приведен в табл. 7.

Таблица 5 – Данные эталонных моделей операций первого класса и их интегральных характеристик

n	$re_1[n]$	$ire_1[n]$	$vre_1[n]$	$pe_1[n]$	$ipe_1[n]$	$vpe_1[n]$	$re_2[n]$	$ire_2[n]$	$vre_2[n]$	$pe_2[n]$	$ipe_2[n]$	$vpe_2[n]$
0	0	0	0	0			0	0	0	0		
1	1	1	1	0			5	5	5	0		
2	2	3	4	0			4	9	14	0		
3	3	6	10	0			3	12	26	0		
4	4	10	20	0			2	14	40	0		
5	5	15	35	0			1	15	55	0		
6	0			0	0	0	0			0	0	0
7	0			3	3	3	0			3	3	3
8	0			3	6	9	0			3	6	9
9	0			3	9	18	0			3	9	18
10	0			3	12	30	0			3	12	30
11	0			3	15	45	0			3	15	45
12	0			3	18	63	0			3	18	63
13	0			3	21	84	0			3	21	84

Таблица 6 – Данные эталонных моделей операций второго класса и их интегральных характеристик

n	$re_1[n]$	$ire_1[n]$	$vre_1[n]$	$pe_1[n]$	$ipe_1[n]$	$vpe_1[n]$	$re_2[n]$	$ire_2[n]$	$vre_2[n]$	$pe_2[n]$	$ipe_2[n]$	$vpe_2[n]$
0	0	0	0	0			0	0	0	0		
1	1	1	1	0			1	1	1	0		
2	2	3	4	0			2	3	4	0		
3	3	6	10	0			3	6	10	0		
4	4	10	20	0			4	10	20	0		
5	5	15	35	0			5	15	35	0		
6	0			0	0	0	0			0	0	0
7	0			1	1	1	0			7	7	7
8	0			2	3	4	0			6	13	20
9	0			3	6	10	0			5	18	38
10	0			4	10	20	0			4	22	60
11	0			5	15	35	0			3	25	85
12	0			6	21	56	0			2	27	112
13	0			7	28	84	0			1	28	140

Таблица 7 – Данные эталонных моделей операций третьего класса и их интегральных характеристик

n	$re_1[n]$	$ire_1[n]$	$vre_1[n]$	$pe_1[n]$	$ipe_1[n]$	$vpe_1[n]$	$re_2[n]$	$ire_2[n]$	$vre_2[n]$	$pe_2[n]$	$ipe_2[n]$	$vpe_2[n]$
0	0	0	0	0			0	0	0	0		
1	1	1	1	0			2	2	2	0		
2	1	2	3	0			2	4	6	0		
3	1	3	6	0			2	6	12	0		
4	1	4	10	0			2	8	20	0		
5	1	5	15	0			2	10	30	0		
6	0			0	0	0				0	0	0
7	0			2	2	2				4	4	4
8	0			2	4	6				4	8	12
9	0			2	6	12				4	12	24
10	0			2	8	20				4	16	40
11	0			2	10	30				4	20	60
12	0			2	12	42				4	24	84
13	0			2	14	56				4	28	112

Как уже ранее было показано, для таких моделей

$$VK_1 = VK_2.$$

Далее используются классы эталонных моделей, разработанные для верификации простых операций [2].

На основании результатов верификации принимается решение о возможности использования оценочного показателя в качестве критерия оптимизации операционных процессов с распределенными во времени параметрами.

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для проведения тестирования осуществляется отбор показателей по наличию формальных признаков. Таким внешним признакам отвечают, например, показатели RL [3] и EL [4].

$$RL = \int_{t_0}^{t_a} \left[\int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^t |re(t)| dt \right) dt - \int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^t pe(t) dt \right) dt \right] dt. \quad (5)$$

$$EL = \frac{\int_{t_a}^{t_d} \left(\int_{t_a}^t \left[\int_{t_0}^t pe(t) dt - \int_{t_0}^t |re(t)| dt \right] dt \right) dt}{\int_{t_0}^{t_a} \left[\int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^t |re(t)| dt \right) dt - \int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^t pe(t) dt \right) dt \right] dt}, \quad (6)$$

где $t \in [0, t_a]$; $t_d = t_a + 1$.

С использованием предложенного метода исследовались пары моделей операций приведенных в табл. 5 – табл. 7.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты верификации показателей на четырех классах моделей эталонных операций приведены в табл. 8.

Таблица 8 – Сопоставление рейтинговых оценок эталонных моделей операций и оценок полученных с использованием верифицируемых показателей

Оценочные показатели	Классы операций		
	1	2	3
VRE_1	35		
VRE_2	55		
VPE_1		84	
VPE_2		140	
VK_1	1,4	1,4	2,73
VK_2	0,53	3	2,73
RL_1	1023	840	168
RL_2	1513	430	336
EL_1	0,0029	0,0077	0,0268
EL_2	0,0020	0,0155	0,0268

Каждый класс моделей позволяет верифицировать отдельный аспект модели операции. Это связано с тем, что среди исследуемых показателей может не оказаться такого, который непротиворечиво оценивает все классы операций. В таком случае, если выбор все же необходимо сделать, он осуществляется с учетом особенностей оптимизируемого процесса.

Первый класс операций позволяет определить чувствительность верифицируемого показателя по отношению к особенностям распределения плотности входной функции $re(t)$, второй класс – соответственно, позволяет определить чувствительность показателя по отношению к особенностям распределения плотности выходной функции $pe(t)$.

Третий класс эталонных моделей операций позволяет определить возможности комплексного оценивания вход-выход.

Четвертый класс операций позволяет оценивать не только относительные возможности показателей.

Анализ структуры верифицируемых объектов показывает, что показатель (1) является абсолютным показателем, а показатель (2) – относительным. Максимальному значению эффективности соответствует минимальное значение показателя (1) и максимальное значение показателя (2).

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что в качестве критерия оптимизации пытаются использовать разные показатели. Это может быть «энергетический продукт» [5], «критическая нагрузка» [6], «надежность» [7], «критерий заполнения» [8], «постоянная энергия ошибки выборки» [9], «минимальное отклонение» [10] и т. д. Перечень работ можно расширять достаточно долго. Возникает естественный вопрос: «Можно ли в качестве критерия оптимизации процесса использовать показатель, который характеризует некоторый технический аспект исследуемого процесса?».

В этом смысле оптимизация по критерию минимума «затрат» [11] находится в несколько более выгодном

положении, поскольку это понятие можно трактовать как кибернетическое. Это связано с тем, что затраты, по крайней мере, сопутствуют любому системному процессу. Критический анализ данному показателю был дан выше, однако в системах которые не работают в непрерывном режиме, этот показатель может использоваться в качестве критерия оптимизации, поскольку режим управления по минимуму затрат, если не учитывать фактор времени, соответствуют получению максимума добавленной ценности.

Второй аспект, который является характерным для работ связанных с разработкой кибернетических критериев оптимизации, попытка использования кибернетических показателей основанных на определении первого интегрального параметра по входу или входу [11], выходу или выходу исследуемой операции [12]. Естественно, это исключает возможность учитывать распределенный характер во времени технологических потоков управляемых систем, а соответственно, и фактор времени.

В рамках разработанного класса идентифицированных моделей с распределенными параметрами обеспечивается проверка верифицируемого показателя на непротиворечивость сравнительной оценки.

Все дело в том, что частные показатели обеспечивают адекватное ранжирование моделей операций только своего класса, и не отображают численное значение самой эффективности, поскольку показателями эффективности, по сути, не являются. По этой причине численные значения оценки одних и тех же моделей операций, с использованием разных частных показателей, между собой не сопоставимы.

По этой же причине значения частных показателей, полученных в результате оценивания моделей операций своего класса, не являются эталонами эффективности.

С другой стороны, использование предложенного метода в рамках созданных классов эталонных моделей уже позволяет специалистам практикам критически сузить круг показателей, которые планируется использовать в качестве критерия оптимизации для оценки моделей операций с распределенными параметрами.

Таким образом, дальнейшие исследования в данном направлении могут быть направлены на расширение классов эталонных моделей операций.

ВЫВОДЫ

Впервые доказано, что из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами $\Psi_1 = [re_1(t), pe_1(t)]$ и $\Psi_2 = [re_2(t), pe_2(t)]$, где $IRE_1 = IRE_2$, $VRE_1 \neq VRE_2$ и $pe_1(t) = pe_2(t)$, эффективней будет операция с меньшим значением параметра второй интегральной характеристики функции $re(t)$.

Впервые доказано, что из двух синхронизированных операций с распределенными параметрами $\Psi_1 = [re_1(t), pe_1(t)]$ и $\Psi_2 = [re_2(t), pe_2(t)]$, где $re_1(t) = re_2(t)$, $IPE_1 = IPE_2$, $VPE_1 \neq VPE_2$, эффективней будет операция с большим значением параметра второй интегральной характеристики функции $pe(t)$.

Впервые разработано три класса эталонных моделей операций с распределенными параметрами и метод идентификации эталонных операций в рамках своего класса с использованием частных показателей.

Разработка предложенного метода позволяет осуществлять обоснованный выбор показателя для использования в качестве критерия оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами. Возможность выбора адекватного критерия оптимизации обеспечит повышение темпов развития производственных структур с оптимизированными процессами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lutsenko I. Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters / [I. Lutsenko, E. Fomovskaya, I. Oksanych et al] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 4 (85). – P. 24–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91025
2. Development of the method for testing of efficiency criterion of models of simple target operations / [I. Lutsenko, E. Vihrova, E. Fomovskaya, O. Serduik] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 2, Issue 4 (80). – P. 42–50. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66307
3. Lutsenko I. Identification of target system operations. 2. Determination of the value of the complex costs of the target operation / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 1, Issue 2 (73). – P. 31–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.35950
4. Lutsenko I. Identification of target system operations. Development of global efficiency criterion of target operations / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 2, Issue 2 (74). – P. 35–40. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.38963
5. Vasilyev E. S. Optimization of the architecture of a charge pump device on the basis of the energy efficiency criterion /

- E. S. Vasilyev // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2013. – Volume 58, Issue 1. – P. 95 – 99. <http://dx.doi.org/10.1134/s1064226913010099>
6. Wu Y. Henig efficiency of a multi-criterion supply-demand network equilibrium model / Y. Wu, T. C. Cheng // Journal of Industrial and Management Optimization. – 2006. – Volume 2, Issue 3. – P. 269–286. <http://dx.doi.org/10.3934/jimo.2006.2.269>
7. Optimization of the structure of multifunctional information systems according to the criterion of a required value of the efficiency ratio / [U. V. Anishchenko, L. I. Kul'bak, A. N. Kryuchkov, T. S. Martinovich] // Automatic Control and Computer Sciences. – 2008. – Volume 42, Issue 4. – P. 203–209. DOI: 10.3103/S0146411608040068
8. Miskowicz M. Efficiency of Event-Based Sampling According to Error Energy Criterion / M. Miskowicz // Instrumentation, Signal Treatment and Uncertainty Estimation in Sensors. – 2010. – 10(3). – P. 2242–2261. DOI: 10.3390/s100302242
9. Xu Q. Adaptive surrogate-based design optimization with expected improvement used as infill criterion / Q. Xu, E. Wehrle, H. Baier // A Journal of Mathematical Programming and Operations Research. – 2012. – Volume 61, Issue 6. – P. 661–684. <http://dx.doi.org/10.1080/02331934.2011.644286>
10. Xia L. Optimization of Markov decision processes under the variance criterion / L. Xia // Automatica. – 2016. – Volume 73. – P. 269–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.automatica.2016.06.018>
11. Харченко В.П. Оптимізація мережі інформаційних аеронавігаційних засобів за узагальненим критерієм ефективності / В. П. Харченко, Д. Г. Бабейчук, О. С. Слюняев // Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – 2009. – № 1. – С. 3–5. DOI: 10.18372/2306-1472.38.1650
12. Köhl M. Performance Requirements and Criteria / M. Köhl // Journal of Chromatography Library. – 2004. – Vol. 35. – P. 85–90. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4770\(08\)60418-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4770(08)60418-2)

Статья поступила в редакцию 12.02.2017.

После доработки 01.06.2017.

Луценко І. А.¹, Фомовська О. В.², Оксанич І. Г.³, Сердюк О. Ю.⁴

¹Д-р техн. наук, професор, професор кафедри електронних апаратів Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електронних апаратів Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна

³Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна

⁴Аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг, Україна

РОЗРОБКА МЕТОДА ВЕРИФІКАЦІЇ КРИТЕРІЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Актуальність. Вирішено актуальне завдання верифікації критерію для оптимізації операційних процесів з розподіленими параметрами.

Мета роботи – створення методу верифікації оціночних критеріїв, що має властивості високої вибірковості і дозволяє вилучити ті показники, які забезпечують суперечливі результати по відношенню до результатів приватних критеріїв ефективності.

Метод. Запропоновано метод верифікації глобального критерію для оптимізації операційних процесів з розподіленими параметрами продуктивних потоків, який заснований на формуванні класів еталонних операцій, ідентифікованих з використанням локальних критеріїв ефективності, які, в свою чергу, засновані на використанні виявлених особливостей других інтегральних параметрів від інтегральних функцій входу і виходу глобальної моделі операції, адекватність яких математично доведена, забезпечуючи тим самим відбір показника, оціночні особливості якого дозволяють узгодити результати операційної діяльності керування систем з метою їх власника за рахунок виходу в режим управління відповідного максимуму ефективності використання ресурсів.

Результати. Розроблено алгоритм реалізації методу верифікації оціночних показників, який був використаний при проведенні обчислювальних експериментів, пов'язаних з ілюстрацією можливостей запропонованого методу.

Висновки. Вперше розроблено три класи еталонних моделей операцій з розподіленими параметрами, кожна з яких ідентифікована з використанням локального критерію ефективності.

Розробка запропонованого методу дозволяє здійснювати обґрунтований вибір єдиного показника для використання в якості глобального критерію оптимізації операційних процесів з розподіленими параметрами будь-яких систем, процеси яких цього вимагають. Можливість вибору адекватного критерію оптимізації забезпечить підвищення темпів розвитку виробничих структур.

Проведені експерименти підтвердили працездатність запропонованого методу, реалізованого у вигляді алгоритму, що дозволяє рекомендувати його фахівцям-практикам для відбору оціночного критерію з безлічі показників, які пропонуються дослідниками в якості критерію оптимізації операційних процесів з розподіленими параметрами. Показник, який успішно пройшов верифікацію, забезпечує

можливість узгодження параметрів операційного процесу з метою власника (суперсистеми). При цьому, передбачається, що метою суперсистеми є максимізація власних можливостей, прямо пов'язаних з ефективністю використання доступних ресурсів.

Ключові слова: критерій оптимізації, верифікація показників, еталонна модель операції, операції з розподіленими параметрами, оцінка ефективності операції.

Lutsenko I.¹, Fomovskaya E.², Oksanych I.³, Serdiuk O.⁴

¹Dr.Sc., Professor, Professor of Department of Electronic Devices of Kremenchug national University them. M. Ostrogradskii, Ukraine

²PhD, Associate Professor, Head of Department of Electronic Devices, Kremenchug national University them. M. Ostrogradskii, Ukraine

³PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Information and Control Systems, Kremenchug national University them. M. Ostrogradskii, Ukraine

⁴Postgraduate student of Department of Computer Systems and Networks, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine

DEVELOPMENT OF CRITERION VERIFICATION METHOD FOR OPTIMIZATION OF OPERATIONAL PROCESSES WITH THE DISTRIBUTED PARAMETERS

Context. The urgent verification problem of criterion for optimization of operational processes with the distributed parameters is solved.

Objective is creation of a verification method for estimated criteria which have high selectivity and allow excluding those indicators, which provide contradictory results in relation to results of local efficiency criteria

Method. The verification method of global criterion for optimization of operational processes with the distributed parameters of product flows which is based on reference operations classes formation identified with use of the local efficiency criteria, in turn, are based on use of the revealed features of the second integrated parameters from integrated functions of an input and output of global operation model, which adequacy is mathematically proved is offered, providing thereby indicator selection, the estimated features of which allow processing activities coordinating results of the operated systems with the purpose of their owner at the expense of an output in control mode corresponding to a maximum of resources efficiency.

Results. The algorithm of realization of a verification method for estimated indicators which has been used when carrying out computing experiments connected with the illustration of the offered method opportunities is developed.

Conclusions. For the first time three classes of reference models of operations with distributed parameters, each of which is identified with the local criterion of efficiency have been developed.

The development of the proposed method let us to make an informed choice of the one indicator for its using as a global optimization criterion of any system operational processes with distributed parameters which require this. The ability to select the adequate optimization criterion will improve the production structures development rate.

The experiments have been confirmed the operability of the proposed method, implemented in the algorithm form so it should be recommended to practicing experts for the estimated criteria selection from the indicators set which are offered by the researchers as an optimization criterion for operational processes with distributed parameters. The indicator which has successfully passed the verification enables coordination of the operational process parameters with the owner's (supersystem's) goal. At the same time, it is supposed that the purpose of supersystem is the maximization of own available resources opportunities which are directly connected with use of resources efficiency.

Keywords: optimization criterion, indicators verification, operation reference model, operation with the distributed parameters, operation efficiency evaluation.

REFERENCES

- Lutsenko I., Fomovskaya E., Oksanych I., Vihrova E., Serdiuk O. Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, Vol. 1, Issue 4 (85), pp. 24–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91025
- Lutsenko I., Vihrova E., Fomovskaya E., Serdiuk O. Development of the method for testing of efficiency criterion of models of simple target operations, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, Vol. 2, Issue 4 (80), pp. 42–50. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66307
- Lutsenko I. Identification of target system operations. Determination of the value of the complex costs of the target operation, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, Vol. 1, Issue 2 (73), pp. 31–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.35950
- Lutsenko I. Identification of target system operations. Development of global efficiency criterion of target operations, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, Vol. 2, Issue 2 (74), pp. 35–40. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.38963
- Vasilyev E. S. Optimization of the architecture of a charge pump device on the basis of the energy efficiency criterion, *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2013, Volume 58, Issue 1, pp. 95–99.
- Wu Y., Cheng T. C. Henig efficiency of a multi-criterion supply-demand network equilibrium model, *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2006, Volume 2, Issue 3, pp. 269–286.
- Anishchenko U. V., Kul'bak L. I., Kryuchkov T. S., Martinovich A. N. Optimization of the structure of multifunctional information systems according to the criterion of a required value of the efficiency ratio, *Automatic Control and Computer Sciences*, 2008, Volume 42, Issue 4, pp. 203–209.
- Miskowicz M. Efficiency of Event-Based Sampling According to Error Energy Criterion. Instrumentation, *Signal Treatment and Uncertainty Estimation in Sensors*, 2010, 10 (3), pp. 2242–2261.
- Xu Q., Wehrle E., Baier H. Adaptive surrogate-based design optimization with expected improvement used as infill criterion, *A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*, 2012, Volume 61, Issue 6, pp. 661–684.
- Xia L. Optimization of Markov decision processes under the variance criterion, *Automatica*, 2016, Volume 73, pp. 269–278.
- Harchenko V. P., Babeychuk D. G., Slyunyaev O. S. Optimizatsiya merezhi informatsiy nih aeronavigatsiy nih zasobiv za uzagalnenim kriteriem efektnosti, *Aerokosmichni sistemi monitoringu ta keruvannya*, 2009, No. 1, pp. 3–5.
- Köhl M. Performance Requirements and Criteria, *Journal of Chromatography Library*, 2004, Vol. 35, pp. 85–90.