

*Теоретично обґрунтований критерій ефективності використання ресурсів для оцінювання процесів розподільних систем. Освітлені принципи оптимального керування процесами розподільних систем*

*Ключові слова: Оптимальне керування, критерій ефективності, технологічна операція, запаси продукції*

*Теоретически обоснован критерий эффективности использования ресурсов для оценивания процессов разделительных систем. Освещены принципы оптимального управления процессами разделительных систем*

*Ключевые слова: Оптимальное управление, критерий эффективности, технологическая операция, запасы продукции*

*The effectiveness criterion of the resources use for evaluating of the separating systems processes is theoretically substantiated. The optimal control principles of separating systems processes are illuminated*

*Key words: optimal control, criterion of efficiency, technological operation, supplies of products*

# РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**И. А. Луценко**

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: 8-067-720-61-12

E-mail: ilutsenko59@gmail.com

**Ю. И. Гнатюк**

Студент\*

Контактный тел.: 8-067-319-82-59

**А. Ю. Михайленко**

Аспирант\*

Контактный тел.: 8-068-857-48-54

E-mail: Eleganteg@gmail.com

\*Кафедра электроснабжения и ресурсосбережения

Криворожский технический университет

ул. 22 Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027

## Введение

Наличие разделительной системы (в литературе известна как система управления запасами) обеспечивает возможность оптимизации процессов предшествующей управляемой системы. В свою очередь, разделительная управляемая система, как подсистема более крупной системы «система преобразования - разделительная система», имеет собственные возможности для повышения ее эффективности.

Разделительная управляемая система (РУС) обеспечивает реализацию трех основных ТО: операцию

потребления входного продукта, операцию хранения запасов и операцию дозированной выдачи выходного продукта. Все остальные особенности функционирования РУС связаны с организацией технологии управления.

Качественно, а иногда только концептуально, выходной продукт РУС не отличается от входного сырьевого продукта. Поэтому мы определим продукт, для накопления которого создается РУС, как транзитный продукт РУС.

Примером классом РУС у которых транзитный продукт на входе только концептуально не отличается

от продукта на выходе, являются электрические аккумуляторы.

Так, гидроэлектростанция обеспечивает накопление и выдачу энергии. Но, на вход электростанции подается вода с высоким энергетическим потенциалом (но это не электроэнергия), а на выходе электростанции мы уже получаем электроэнергию.

Наличие разделительных систем, до и после систем преобразования, дает возможность этим системам варьировать интенсивность потребления входных и выдачи выходных продуктов, что в свою очередь обеспечивает возможность реализации оптимальных режимов управления для систем преобразования продуктов.

Исторически сложилось так, что вопросы управления процессами разделительных систем (в литературе больше известны как управление запасами) попали под пристальное внимание специалистов по управлению подсистем высшего иерархического уровня.

Уже тогда было отмечено, что уровень запасов РУС должен находиться на вполне определенном уровне. «На большинстве предприятий расходы на закупленные материалы доходят до 50% стоимости всех издержек производства, что дает широкое поле деятельности в снижении этих издержек посредством надлежащих мер контроля за товарными запасами. Больше того, компании, получающие от 8 до 9% прибыли от реализации, часто могут повысить ее больше чем на 10%, просто снижая затраты на товарные запасы всего лишь приблизительно на 2%. Прибыль, получаемая на каждый доллар, сбереженный в результате более действенного регулирования товарных запасов, приблизительно равняется прибыли, получаемой путем увеличения на 11 долл. объема реализации товаров» [1, С. 564-565.]. «Чрезмерные товарные запасы являются одной из главных причин краха предприятий...Иметь в наличии слишком маленький объем товарных запасов также плохо, как и иметь их слишком много. Недостаточные запасы могут часто приводить к отсутствию самых необходимых материалов, так что компания не сможет выполнить необходимые производственные заказы или сделать запланированные поставки. Это может вызвать потерю настоящих и будущих заказов» [1, С. 565-566.].

То есть, разделительные системы точно также нуждаются в процессах оптимизации, как и системы преобразования продуктов. Как видно из приведенных выше цитат, последствия неэффективного управления разделительными системами специалисты практики зачастую считают более опасной проблемой для предприятия, чем наличие нерегулируемой производительности систем преобразования продуктов.

Поэтому разработка оптимальных разделительных систем является актуальной научной и практической задачей.

**Цель работы**

Целью является разработка критерия эффективности использования ресурсов для оценивания процессов разделительных систем.

Специалисты в области управления разделительными процессами различают два основных способа управления разделительными системами – управле-

ние с заданным объемом пополнения запасов (технология «минимум-максимум») и управление с заданным интервалом между пополнениями [2, 3].

На практике широко используются оба способа управления. Их реализация требует разработки критерия оптимального управления, отображающего особенности функционирования РУС, и способы управления в частности.

Если системы преобразования позволяют повысить стоимость выходного продукта за счет управляемого процесса композиции входных продуктов, то разделительные управляемые системы получают входной продукт от системы подачи, некоторое время хранят его, а затем, по заданию системы потребления передают его. По этой причине продукт, который разделительная система получает, хранит и выдает, мы определим как *транзитный* продукт.

Зачем же тогда нужны разделительные системы, если они с транзитным продуктом никаких преобразований не осуществляют?

Разделительные системы дают возможность, с одной стороны, снизить издержки системы преобразования, а с другой - повысить стоимость выходного продукта, за счет создания принципиально другой системы ценностей.

Рассмотрим, за счет чего формируется эта система ценностей.

Базовая архитектура РУС включает в себя разделительный механизм, механизм координации РУС и генераторы сигналов нижнего и верхнего уровней разделительного механизма (рис. 1).

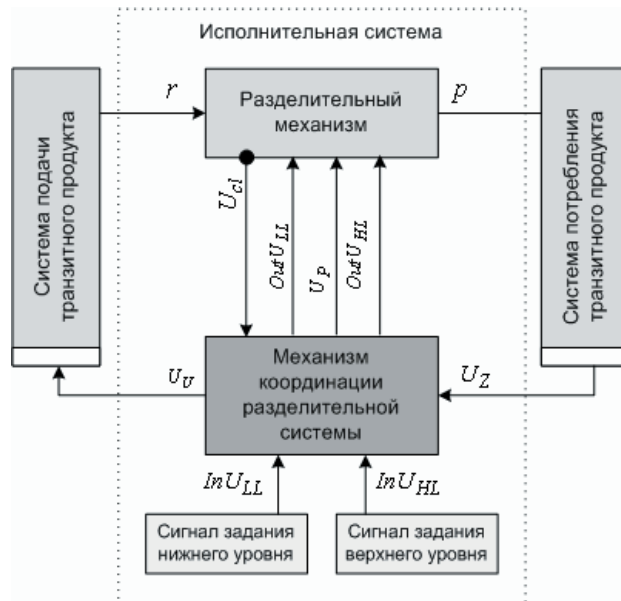


Рис. 1. Блок – схема управляемой разделительной системы функционирующей по технологии «минимум – максимум»

Технология определения текущего уровня запасов разделительного механизма может опираться на информацию о движении транзитного продукта на его входе и выходе. Такой способ используется, когда разделительный механизм служит контейнером для хранения изначально калиброванных единиц или партий транзитных продуктов.

Второй способ опирается на измерение уровня запасов с использованием датчиков уровня. Такой способ используется, когда возможность регистрации учетного параметра отсутствует, непосредственное измерение параметра дает значительную погрешность и имеется техническая возможность регистрировать, по крайней мере, достижение уровнем запасов верхнего и нижнего уровней разделительного механизма.

Изображенная на рис. 1 РУС реализует именно такой способ определения уровня запасов.

Датчик уровня схематично изображен в виде зачерненного кружка на контуре разделительного механизма.

Сигнал управления на подачу партии транзитного продукта формируется в момент, когда текущий уровень запасов разделительного механизма достигает установленного нижнего уровня.

Реализация концепций оптимального управления предопределяет независимость функционирования системы преобразования, в период обеспечения системой преобразования РУС, своим выходным продуктом. Для систем преобразования с порционной подачей сырьевых продуктов независимость функционирования проявляется в том, что ее система управления самостоятельно принимает решение о том, какой объем сырьевого продукта будет преобразован в рамках отдельной технологической операции и, с какой скоростью.

Таким образом, РУС управляет системой преобразования продуктов, но это управление определяет только то, какое количество ТО будет сформировано в период, когда сигнал задания системы преобразования имеет высокий уровень, причем в условиях стационарного уровня потребления продукции самой РУС (рис. 2).

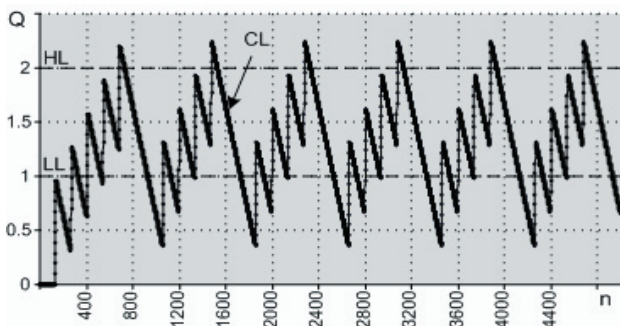


Рис. 2. Изменение текущего уровня запасов в разделительном механизме

В результате, система управления РУС формирует операцию, которая начинается в момент подачи высокого уровня управления и заканчивается в момент подачи следующего фронта формирования высокого уровня управления.

В пределах одной операции РУС, предшествующая система преобразования может сформировать множество промежуточных операций пополнения запасов. Их количество, как видно из рис. 2, зависит от разности верхнего и нижнего контрольных уровней. Эти промежуточные операции определим как «вложенные операции».

Характерной особенностью организации процессов управления РУС является «принудительное» завершение каждой последующей вложенной операции, связанное с началом операции пополнения в момент, когда запасы разделительного механизма имеют ненулевой уровень.

В результате, для отдельной вложенной операции разделительной управляемой системы определяются: входная, условно переданная партия транзитного продукта объемом  $icq_R$ , входная партия транзитного продукта объемом  $irq_C$ , выходная партия транзитного продукта объемом  $irq_C$  и условно передаваемая партия выходного продукта объемом  $icq_P$  (рис. 3).

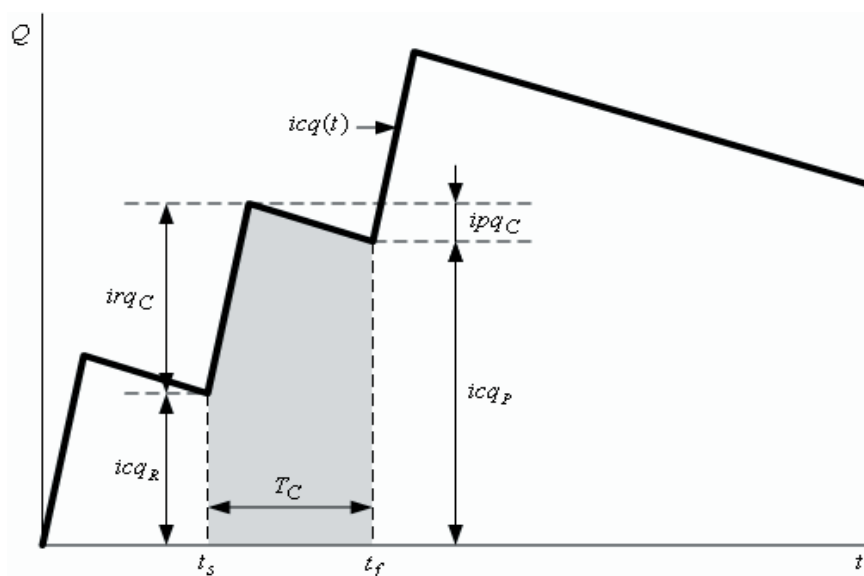


Рис. 3. К пояснению принципа формирования контуров операции РУС

Для завершённой технологической операции РУС можно сформулировать *количественный принцип балансного равенства*: «Интегральный объем входной партии транзитного продукта должен быть равным интегральному объему соответствующей выходной партии транзитного продукта

$$\int_{t_s}^{t_f} r q(t) dt = \int_{t_s}^{t_f} p q(t) dt .$$

Учитывая импульсный характер функции условного переданных партий входного и выходного транзитных продуктов, уравнение можно записать в виде

$$icq_R + \int_{t_s}^{t_f} r q_C(t) dt = \int_{t_s}^{t_f} p q_C(t) dt + icq_P ,$$

где  $icq_R$  - величина условно переданной входной партии транзитного продукта;

$rq_C(t)$  - изменение учетного параметра входной партии транзитного продукта;  
 $pq_C(t)$  - изменение учетного параметра выходной партии транзитного продукта;  
 $icq_P$  - величина условно переданной выходной партии транзитного продукта.

Поскольку только передача выходной партии транзитного продукта обеспечивает достижение конечной цели управления, стоимостная оценка условно переданной партии выходного продукта не должна нести отображение этой компоненты результата управления.

Следовательно, стоимостная оценка единицы условно переданного транзитного продукта должна быть равной той стоимостной оценке, по которой подается входной продукт РУС.

В этом случае *стоимостный баланс управления* будет иметь вид

$$C_U + rs \cdot icq_R + rs \int_{t_s}^{t_f} rq_C(t)dt = ps \int_{t_s}^{t_f} pq_C(t)dt + rs \cdot icq_P,$$

где  $C_U$  - стоимостная оценка управления;

$rs$  - стоимостная оценка единицы входного транзитного продукта;

$ps$  - стоимостная оценка единицы выходного транзитного продукта.

Такой подход отображает эффективное завершение операции даже в том случае, если стоимостная оценка партии целевого потребления меньше стоимостной оценки входной партии транзитного продукта

$$C_U = ps \int_{t_s}^{t_f} pq_C(t)dt + rs \cdot icq_P - rs \cdot icq_R - rs \int_{t_s}^{t_f} rq_C(t)dt.$$

Учитывая что  $IPE = ps \int_{t_s}^{t_f} pq_C(t)dt + rs \cdot icq_P$ , а

$IRE = rs \cdot icq_{Rk} + rs \int_{t_s}^{t_f} rq_{Ck}(t)dt$ , для эффективности приведенной операций в аналитическом виде получим

$$E = \frac{\sum_{k=1}^I \left[ ps \int_{t_s}^{t_f} pq_{Ck}(t)dt + rs \cdot icq_{Pk} - rs \cdot icq_{Rk} - rs \int_{t_s}^{t_f} rq_{Ck}(t)dt \right]^2 T_{Ik}^2}{\sum_{k=1}^I \left( ps \int_{t_s}^{t_f} pq_{Ck}(t)dt + rs \cdot icq_{Pk} \right) \cdot \left( rs \cdot icq_{Rk} + rs \int_{t_s}^{t_f} rq_{Ck}(t)dt \right) T_{Ok}^2}$$

Создадим управляемую систему по рис. в среде ASPC-lab и рассмотрим, как изменяется текущий уровень запасов разделительного механизма, если нижний уровень равен единице, а верхний – двум.

Система потребления обеспечивает непрерывный отбор выходного транзитного продукта на уровне 0.005 ед. в секунду.

Поскольку текущий уровень запасов меньше установленного верхнего уровня, на выходе механизма координации формируется высокий уровень сигнала  $U_U = 1$ .

Система подачи активизируется и начинает процесс преобразования (Этап 1) (рис. 4).

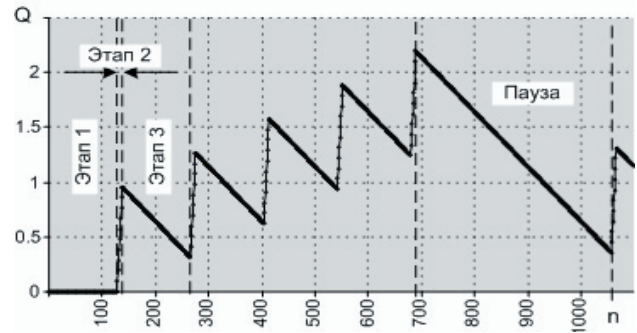


Рис. 4. Этапы операции разделительной системы

Второй этап начинается с момента подачи транзитного продукта на вход разделительной системы и заканчивается после прекращения подачи. Параллельно с началом подачи начинается процесс отбора выходного транзитного продукта, который длится непрерывно.

Третий этап начинается с момента прекращения подачи входного транзитного продукта. На этом этапе идет только отбор выходного транзитного продукта.

Далее этапы 2 – 3 повторяются до момента, пока текущий уровень запасов не достигает верхнего уровня. Затем механизм координации разделительной системы формирует низкий уровень сигнала  $U_U = 0$  до момента достижения текущим уровнем запасов единичного уровня (пауза).

Что мы наблюдаем?

Разделительная система формирует технологическую операцию пополнения – хранения – выдачи. Поскольку решение задачи пополнения запасов РУС не достигается за один цикл пополнения, система подачи успевает сформировать несколько операций пополнения.

Следовательно, операция разделительной системы формируется последовательностью операций системы подачи. Эти операции мы определим как вложенные операции.

Таким образом, операция разделительной системы обеспечивается, в общем случае, последовательностью вложенных операций.

Отличительной особенностью операций РУС является принудительное завершение предыдущей операции. В свою очередь, это приводит к понятию *условной партии продукции*.

Так, например, вторая операция пополнения уровня запасов началась в момент времени  $t = 1057$  с. Уровень запасов разделительного механизма в этот момент времени составил 0.455 ед. продукции. Эту продукцию будем считать условно переданной партией продукции на момент начала операции.

В момент времени  $t = 1857$  с. была принудительно завершена вторая операция и начата третья операция.

Соответственно, входной транзитный продукт РУС представлен условно переданной входной партией  $ICQ_R[n]$  и входной партией  $iq[n]$ . Выходной транзитный продукт РУС представлен условно переданной выходной партией  $ICQ_P[n]$  и выходной партией  $ipq[n]$ .

Аналогично можно описать любую вложенную операцию.

Необходимо отметить, что в общем случае  $ICQ_R \neq ICQ_P$ .

Давайте посмотрим, что произойдет, если мы начнем увеличивать верхний уровень разделительного механизма. Как изменится при этом эффективность РУС (рис. 5)?

С этой целью будем увеличивать установленный верхний уровень с шагом 0.5 после каждого завершения операции пополнения.

HL	E
1.5	6.89E-05
2	7.26E-05
2.5	6.63E-05
3	5.27E-05
3.5	4.16E-05
4	3.71E-05
4.5	2.99E-05
5	2.7E-05
5.5	2.23E-05

Как видим, эффективность операции РУС при увеличении установленного верхнего уровня снижается. Не следует ли из этого, что необходимо максимально приблизить верхний уровень к нижнему уровню или нужна ли вообще разделительная система?

Конечно, запасы однозначно выполняют стабилизирующую функцию. Но до каких пор повышать верхний уровень, ведь эффективность снижается (рис. 6)?

В действительности РУС выполняет очень важную практическую роль. Увеличение верхнего уровня приводит к тому, что количество пусков систем подачи снижается. А соответственно снижается уровень пусковых потерь приведенных к отдельной вложенной операции.

Сигнал управления РУС имеет два уровня: уровень разрешения подачи и уровень запрета подачи.

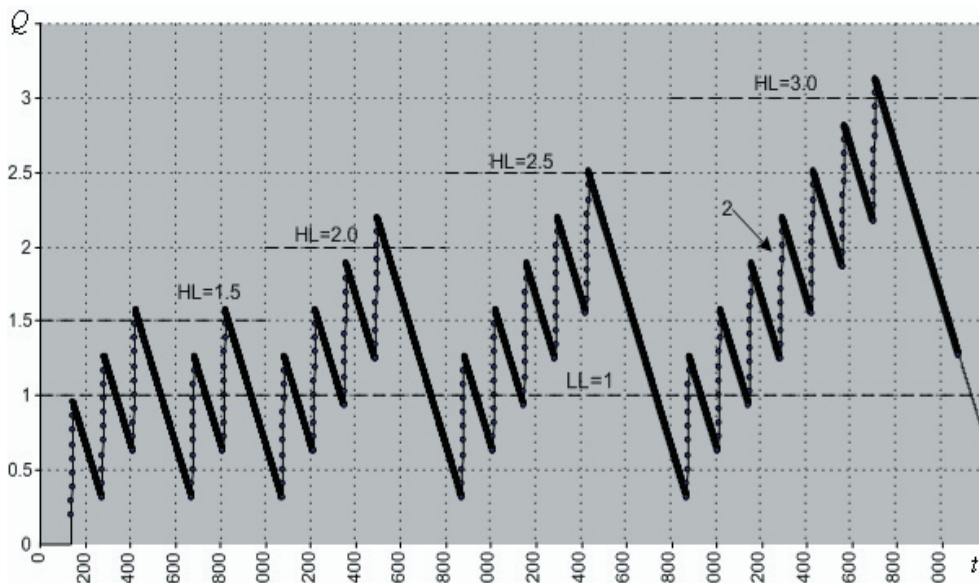


Рис. 5. Изменение уровня запасов разделительного механизма при пополнении запасов от системы преобразования в условиях стационарного уровня спроса в зависимости от изменения величины верхнего уровня

Если уровню разрешения подачи соответствует высокий уровень сигнала управления (например, единичный уровень), а уровню запрета подачи – низкий уровень (например, нулевой), тогда низкий уровень управления устанавливается в момент, когда текущий уровень запасов разделительного механизма достигает установленного верхнего уровня запасов.

Соответственно, высокий уровень управления устанавливается на выходе системы управления РУС в момент, когда текущий уровень запасов разделительного механизма достигает установленного нижнего уровня.

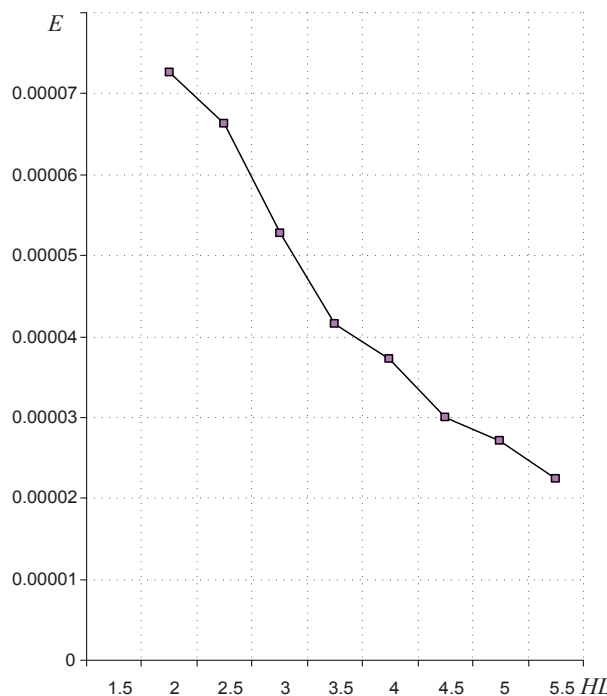


Рис. 6. Изменение эффективности процессов разделительной системы в зависимости от контрольной величины верхнего уровня запасов

Такое поведение функции E(HL) вполне объяснимо (чем меньше объем связанных ресурсов, тем выше эффективность). Но близко расположенные контрольные уровни LL и HL приводят к частому пуску предшествующей системы преобразования, что вызывает увеличение приведенных пусковых потерь к отдельной операции.

Таким образом, реально отображая ситуацию с эффективностью процессов разделительной системы, тем не менее, такое отображение не отображает реаль-

ную картину объекта «система преобразования – разделительная система».

Процессы оптимизации РУС должны учитывать потери пуска предшествующей системы преобразования.

Амплитуду приведенных к моменту начала операции пополнения РУС пусковых потерь можно определить из выражения

$$re_s = IRE_s / I,$$

где  $re_s$  - амплитуда приведенных потерь пуска;

$t_s$  - момент времени, к которому приводятся потери пуска;

$I$  - количество вложенных операций.

Исходя из позиций системного анализа, процессы РУС обеспечивают выходному транзитному продукту дополнительную потребительскую ценность. Это приращение ценности обеспечивается за счет стабилизационных качеств РУС (отбор выходного транзитного продукта может производиться в объеме и скорости, который требуется последующей управляемой системой), и за счет снижения себестоимости транзитного продукта (благодаря снижению приведенных потерь пуска).

Поэтому, уравнение баланса управления РУС можно представить в виде

$$C_U + rs \cdot icq_R + rs \int_{t_s}^{t_f} r_{q_C}(t) dt = (rs + \Delta ps_T + \Delta ps_S) \int_{t_s}^{t_f} p_{q_C}(t) dt + (rs + \Delta ps_S) icq_P$$

$\Delta ps_T$  - приращение стоимостной оценки, отображающей потребительскую ценность стабилизационных возможностей РУС;

$\Delta ps_S$  - приращение стоимостной оценки, за счет снижения себестоимости транзитного продукта.

С учетом вышеизложенного, для показателя эффективности использования ресурсов РУС можно записать

$$E = \frac{\sum_{k=1}^I \left[ ps' \int_{t_s}^{t_f} p_{q_{Ck}}(t) dt + ps'' \cdot icq_{pk} - \left( rs_S \cdot r_{q_S} / I + rs \cdot icq_{Rk} + rs \int_{t_s}^{t_f} r_{q_{Ck}}(t) dt \right) \right] T_{Ik}^2}{\sum_{k=1}^I \left( ps' \int_{t_s}^{t_f} p_{q_{Ck}}(t) dt + ps'' \cdot icq_{pk} \right) \cdot \left( rs_S \cdot ir_{q_S} / I + rs \cdot icq_{Rk} + rs \int_{t_s}^{t_f} r_{q_{Ck}}(t) dt \right) T_{Ok}^2}$$

где  $ps' = (rs + \Delta ps_T + \Delta ps_S)$ ;

$ps'' = (rs + \Delta ps_S)$ ;

$rs$  - стоимостная оценка единичного входного транзитного продукта;

потребительской ценности процессов РУС;

$icq_r$  - учетный параметр интегральной величины условно переходящей входной партии транзитного продукта;

$icq_p$  - учетный параметр интегральной величины условно переходящей выходной партии транзитного продукта;

$I$  - количество вложенных операций, операции РУС;

$t_s$  - момент начала вложенной операции;

$t_f$  - момент завершения вложенной операции;

$r_{q_C}(t)$  - изменение во времени учетного параметра входной партии транзитного продукта;

$p_{q_C}(t)$  - изменение учетного параметра выходной партии транзитного продукта;

$T_I$  - интервал определения значения учетного па-

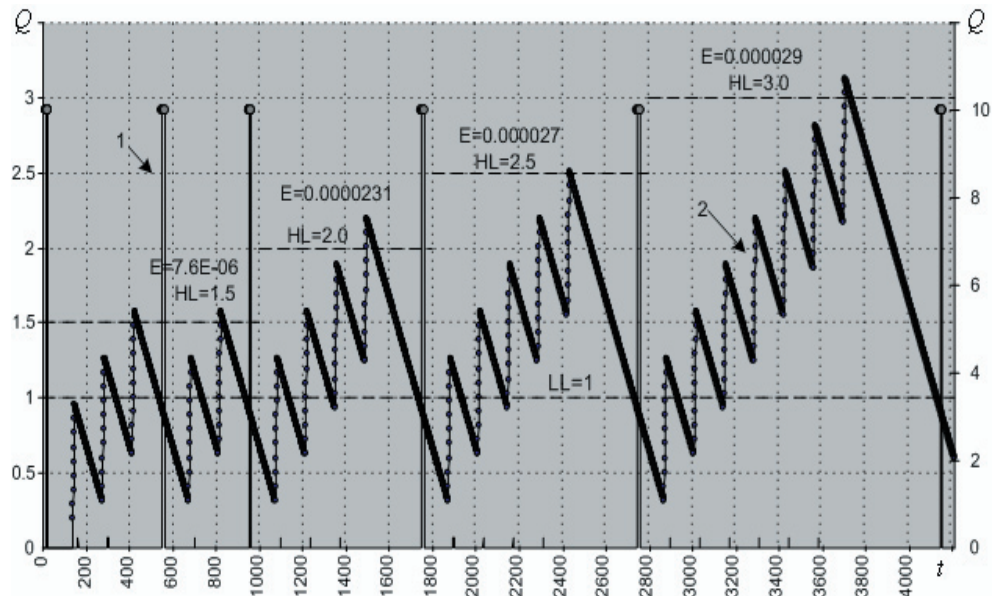


Рис. 7. Пусковые потери предшествующей системы 1 и динамика изменения запасов РУС в зависимости от установленной величины верхнего уровня

раметра выходного транзитного продукта;

$T_0$  - интервал времени вложенной операции.

$rs_S$  - стоимостная оценка единицы затрат пускового режима;

$ir_{q_S}$  - учетный параметр интегральных затрат пускового режима.

С момента формирования затрат пуска и до момента начала пополнения РУС проходит время которое определяется временем преобразования входных продуктов системой подачи. В результате, начало каждого текущего цикла операций приходится на интервал времени вложенной операции последующего цикла операций (рис. 7).

Учет пусковых затрат меняет картину изменения функции  $E(HL)$  (рис.8).

С одной стороны, увеличение верхнего уровня запасов РУС, приводит к снижению удельных потерь пуска на единицу транзитного продукта. С другой стороны, увеличение верхнего уровня запасов увеличивает объем связанного во времени транзитного продукта.

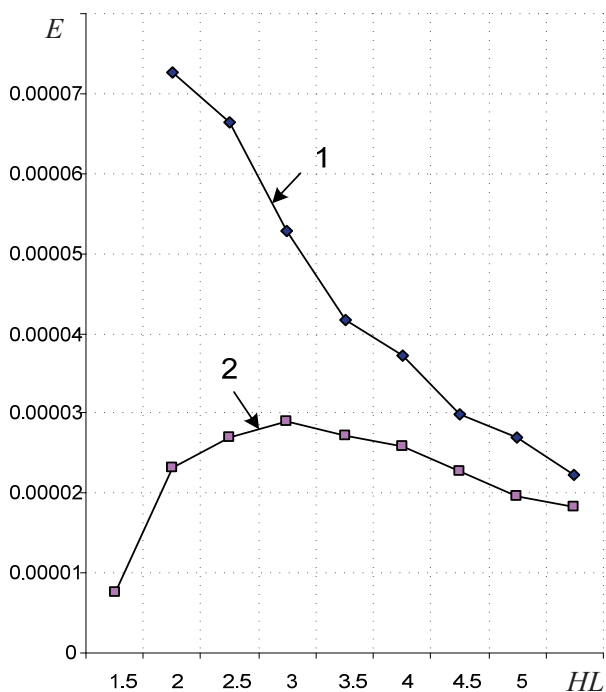


Рис. 8. Изменение эффективности процессов разделительной системы: 1 – без учета потерь пуска; 2 – с учетом потерь пуска предшествующей управляемой системы

Полученная модель эффективности позволяет адекватно оценивать операции РУС в условиях когда интегральная величина выходной партии транзитного продукта равна нулю (рис. 9).

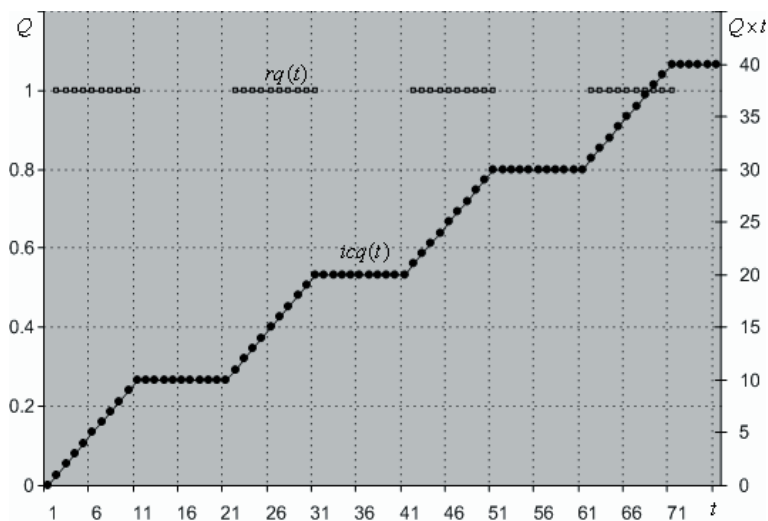


Рис. 9. Изменение уровня запасов РУС при отсутствии потребления выходного транзитного продукта

Такой режим для РУС не только не является исключением, его можно считать достаточно типичным.

Эффект управления и в этом случае присутствует, поскольку управляемое повышение текущего уровня запасов снижает издержки пускового режима.

Потребительская ценность процессов проявляется в снижении времени реакции РУС на управление, в ста-

билизации подачи выходного продукта и возможности непрерывной подачи (качественная сторона процесса).

Таким образом, как и в случае с системами преобразования продуктов, РУС также решает две взаимосвязанные задачи – качества и эффективности.

Результаты решения задачи качества потребитель получает в виде быстрой выдачи продукта РСУ необходимого объема с требуемой интенсивностью.

Решение задачи эффективности позволяет получить более высокую экономическую отдачу от объекта «система преобразования - разделительная система».

Таким образом, наличие разделительной системы на выходе предшествующей управляемой системы обеспечивает возможность реализации оптимизационных процессов, этой предшествующей системы, основанных на изменении производительности.

Разделительные управляемые системы за счет реализации технологии управляемого накопления запасов обеспечивают транзитному продукту дополнительную ценность. Эта ценность, с одной стороны, проявляется в повышении оперативности доступа к продукту РУС и в высокой степени вероятности удовлетворения потребности в требуемом объеме необходимого продукта. С другой стороны, наличие РУС позволяет минимизировать затратные издержки пусковых процессов предшествующей управляемой системы за счет оптимизационных процессов связанных с изменением ее верхнего контрольного уровня и потреблением такого объема входного продукта, величина которого определяется процессами управления предшествующей системы.

В общем случае технологическая операция РУС состоит из множества вложенных операций.

**Выводы**

Разработан показатель эффективности использования ресурсов РУС, с заданным объемом пополнения запасов, который можно использовать в качестве критерия оптимального управления. Установлено, что критерий эффективности использования ресурсов РУС с заданным объемом пополнения запасов определяется из полученного в работе выражения. Изменение эффективности в функции управления зависит от величины учетного параметра входного транзитного продукта, его стоимостной оценки, от величины учетного параметра выходного транзитного продукта, его стоимостной оценки, потерь пуска предшествующей системы и стоимостной оценки потерь.

**Литература**

1. Курс для высшего управленческого персонала, перевод издания PRENTICE – HALL, М., Экономика, 1971 г., 808 с.
2. Бигель Дж. Управление производством. – М.: Мир, 1973, - 301 с.
3. Гаджинский А.М. Логистика. - М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 2000. – 375 с.