

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ
ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВОМ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР**

И. Г. Оксанич, Н. В. Рылова

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: rylovanataly@ Rambler.ru

Проанализированы причины издержек, которые возникают от рассогласования стадий производства кремниевых структур, а именно, издержки от дефицита и пролеживания полуфабрикатов, а также получены соотношения для оценки этих издержек. Разработан критерий эффективности оперативного управления процессом производства кремниевых структур, включающий весовые коэффициенты издержек от простоя оборудования, издержек от связывания оборотных средств и издержек от невыполнения плановых заданий.

Ключевые слова: оперативное управление, производство кремниевых структур, критерий эффективности, издержки производства, полуфабрикаты, межоперационные запасы.

**РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТИВНИХ РІШЕНЬ
ПО УПРАВЛІННЮ ВИРОБНИЦТВОМ КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУР**

І. Г. Оксанич, Н. В. Рылова

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: rylovanataly@ Rambler.ru

Проаналізовано причини втрат, які виникають від неузгодженості стадій виробництва кремнієвих структур, а саме, втрати від дефіциту і пролежування полуфабрикатів, а також отримані співвідношення для оцінки цих втрат. Розроблено критерій ефективності оперативного управління процесом виробництва кремнієвих структур, що включає вагові коефіцієнти втрат від простою устаткування, втрат від зв'язування обігових коштів і втрат від невиконання планових завдань.

Ключові слова: оперативне управління, виробництво кремнієвих структур, критерій ефективності, втрати виробництва, напівфабрикати, міжопераційні запаси.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Повышение эффективности производства и качества продукции в значительной степени обусловлено внедрением достижений современной науки и средств вычислительной техники, позволяющих развивать и совершенствовать методы управления. Особенно актуальна проблема использования современных методов технической кибернетики при создании автоматизированных систем управления сложными технологическими процессами. Это обусловлено, с одной стороны, усложнением процессов производства продукции с одновременным ростом производительности оборудования, с другой стороны – требованием повышения оперативности и обоснованности принимаемых решений. Наличие этих требований, а также постоянное развитие существующих и автоматизация новых технологических процессов, выдвигает проблему разработки новых математических моделей и создания на основе их информационных технологий.

Технологический процесс производства кремниевых структур отличается наличием большого числа исходных параметров, большим числом производимых технологических операций и значительной длительностью многих из них. Он имеет вероятностный характер, ему свойственно низкое отображение результатов, причиной которого является влияние многих неконтролируемых факторов. Это вызывает объективную необходимость корректировки оперативных планов, их согласованность с условиями производства, которые изменяются.

Сложность задачи оценки состояния производства и выбора стратегии управления, с одной стороны, и практическая важность ее решения – с другой, делают проблему оперативного управления процес-

сом производства кремниевых структур актуальной научной задачей. Однако реализация оперативного управления такими системами сталкивается с существенными трудностями, поскольку в реальных условиях системы отличаются многокомпонентностью, каждый параметр находится в сложной взаимосвязи с другими параметрами системы [1].

В условиях производства кремниевых структур особенно актуальной является проблема гарантированного выполнения производственной программы. Поэтому оперативные решения о запуске полуфабрикатов в обработку непосредственно связаны с основными издержками производства – издержками от дефицита полуфабрикатов, издержками от пролеживания полуфабрикатов и издержками от колебания основных параметров производства при реализации управляющих воздействий [2].

Существенная задержка поступления информации о ходе производства к управляющему органу усложняет процесс разработки и своевременной корректировки оперативных планов, что приводит к нарушению ритмичности выполнения производственной программы. В связи с этим возникает необходимость разработки автоматизированной системы оперативного учета и анализа хода производства, которая должна обеспечить своевременное получение информации в систему оперативного управления. Оперативный анализ предусматривает также вычисление значений используемых критериев эффективности функционирования производства, которые отображают цель экономического развития производственной системы. Выбор такого критерия зависит от свойств и особенностей объекта управления и является важным этапом при решении задач, связанных с оперативным управлением производства.

МАТЕРІАЛИ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

1. *Оценка издержек от рассогласования стадий производства кремниевых структур.*

Рассмотрим производственное звено, которое выполняет в процессе производства какую-то одну определенную операцию. Назовем такое звено специальным агрегатом [3]. Установим связь между издержками из-за простоя оборудования и величиной дефицита, вызывающего этот простой, при условии, что в состав агрегата входит однотипное оборудование.

$$A_n^{pr} = \frac{C_n K_r}{F} Q_n t_n^{pr}, \quad (1)$$

где A_n^{pr} – величина издержек, связанных с простоем оборудования из-за возникновения дефицита на n -м агрегате; K_r – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений; C_n – балансовая стоимость единицы оборудования n -го агрегата; t_n^{pr} – длительность простоя; Q_n – количество единиц оборудования, которое простаивает; F – годовой фонд времени работы оборудования.

Введем еще некоторые обозначения: D_n – величина дефицита; τ_n – длительность обработки полуфабриката на n -ом агрегате; N_n – общее количество единиц оборудования; I_n – количество одновременно обрабатываемых полуфабрикатов на одной единице оборудования n -го агрегата.

Тогда справедливо следующее отношение, поскольку величина $Q_n t_n^{pr}$ непосредственно зависит от значения величины D_n :

$$Q_n^u = \begin{cases} D_n / I_n & \text{если } D_n / I_n \in I; \\ \text{int}\left(D_n / I_n\right) + 1 & \text{если } D_n / I_n \notin I, \end{cases} \quad (2)$$

где I – множество целых чисел; $\text{int}(x)$ – целая часть x .

Используя (1), можно записать:

$$A_n^{pru} = \frac{C_n K_r}{F} Q_n^u \tau_n. \quad (3)$$

При этом Q_n^u может интерпретироваться как условное количество единиц оборудования, которое простаивает на протяжении времени τ_n из-за возникновения дефицита D_n .

Рассмотрим случай, когда в состав n -го агрегата входит K_n групп однотипного оборудования. Каждой группе оборудования поставим в соответствие $C_n^k, \tau_n^k, I_n^k, N_n^k$. Допустим, что известно «распределение» дефицита $D_n(t)$ по группам оборудования,

то есть известны величины $D_n^k(t)$, которые удовлетворяют условию:

$$\sum_{k=1}^{K_n} D_n^k(t) = D_n(t). \quad (4)$$

При этом издержки, связанные с простоем оборудования на n -м агрегате, будут равны сумме затрат на всех группах оборудования, то есть:

$$A_n^{pr}(t) = \sum_{k=1}^{K_n} A_n^{prk}(t). \quad (5)$$

Оценка издержек от дефицита полуфабрикатов для случая, когда агрегат содержит несколько групп однотипного оборудования производится на основе следующей формулы:

$$A_n^{pr}(t) = \sum_{k=1}^{K_n} \frac{C_n^k K_r}{F} Q_n^{uk}(t) \tau_n^{uk}. \quad (6)$$

Рассогласование стадий производства может привести также к пролеживанию предметов труда. Издержки, которые возникают при этом, обусловлены связыванием оборотных средств и характеризуются суммарной себестоимостью пролеживающих предметов труда. Уровень связывания оборотных средств на n -ом агрегате на t -м такте контроля, то есть между $t\Delta t$ и $(t+1)\Delta t$ (в системах оперативного управления Δt выбирается равным смене или суткам) моментами времени, можно определить с помощью нижеприведенных соотношений:

– при наличии однотипного оборудования

$$B_n^{oc}(t) = \mu S_n \Delta t \max(0, M_n(t) - I_n N_n^u(t)); \quad (7)$$

– при наличии нескольких групп однотипного оборудования:

$$B_n^{oc}(t) = \mu S_n \Delta t \max\left(0, M_n(t) - \sum_{k=1}^{K_n} I_n^k N_n^{uk}(t)\right),$$

где M_n – величина межоперационных запасов, S_n – себестоимость одного полуфабриката перед обработкой на n -м агрегате; μ – коэффициент приведения.

Легко видеть, что характер зависимости издержек из-за пролеживания от состояния межоперационных запасов и количества единиц работоспособного оборудования аналогичный зависимости от этих показателей издержек из-за появления дефицита.

Общие для всей производственной системы издержки из-за пролеживания запасов можно получить путем суммирования издержек на всех ее агрегатах, то есть:

$$B^{oc}(t) = \sum_{n=1}^N B_n^{oc}(t). \quad (8)$$

Критерием оптимальности, наиболее полно отражающим требование наилучшего использования производственных ресурсов, является минимум длительности совокупного производственного цикла. В свою очередь, длительность совокупного производственного цикла в значительной мере зависит от очередности запуска полуфабрикатов в производство, т.е. происходит динамическое перераспределение ресурсов в пользу полуфабрикатов с более

высоким приоритетов. Смысл динамического приоритета сводится к тому, что для каждой партии рассчитывается индекс срочности (показатель очередности), который определяет необходимый срок запуска полуфабрикатов в обработку в зависимости от фактического числа готовых изделий в заделах и находящихся в процессе производства. Отличительной чертой этого правила является непрерывный пересчет показателей очередности в связи с изменяющейся ситуацией на производстве.

Анализ производственной ситуации показал, что в реальных условиях производства не всегда придерживаются динамического правила приорите-

та. На практике применяются также сложные и комплексные приоритеты (рис. 1).

Комплексный приоритет определяется по формуле:

$$J_i = \sum K_j f_{ji}, \quad (9)$$

где K_j – весовые коэффициенты значимости элементарных приоритетов; f_{ji} – значение j -того элементарного приоритета по i -тому полуфабрикату.

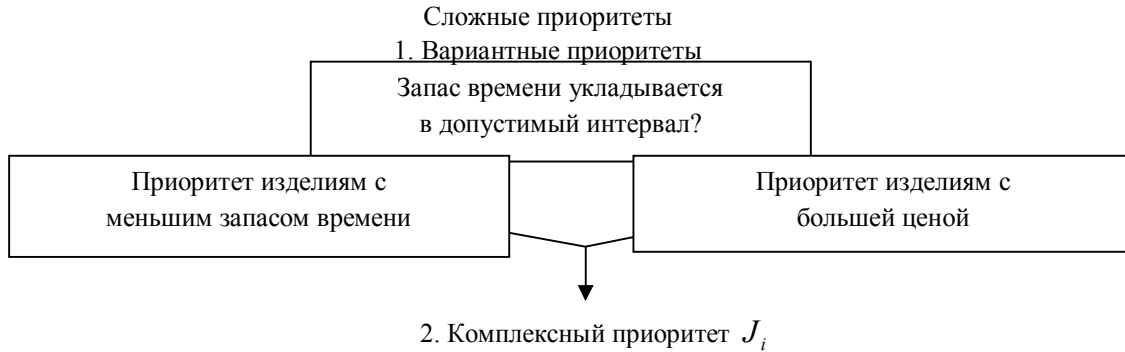


Рисунок 1 – Комплексные приоритеты

Примем множество видов полуфабрикатов, ожидающих обработку на n -том агрегате, упорядоченном в порядке уменьшения их приоритетов (чем меньше значение m , тем выше приоритет элемента). Тогда если $P_{nm}(t)$ – уровень запаса полуфабрикатов m -го вида перед n -тым агрегатом на начало t -го интервала времени

$$\sum_{k \in K_n(t)} N_n^k(t) \cdot b_n^k \cdot I_{nm}^k \leq P_{nm}(t), \quad (10)$$

то все оборудование n -го агрегата будет загружено обработкой полуфабрикатов m -го вида. Здесь

$b_n^k = \text{int} \left(\frac{\Delta t}{\tau_{nm}} \right)$ – показывает сколько раз может

повторяться операция обработки на протяжении времени Δt .

Затраты из-за связывания оборотных средств вследствие пролеживания полуфабрикатов на протяжении времени Δt на n -том агрегате для случая, когда агрегат состоит из нескольких групп однотипного оборудования:

$$B_n^{oc}(t) = K \Delta t \left\{ \sum_{m=1}^m S_{nm} [M_{nm}(t) - N_{nm}^u I_{nm}] + S_{n(m+1)} \left[M_{n(m+1)}(t) - \left(N_n^u(t) - \sum_{m=1}^l N_{nm}^u(t) \right) I_{n(m+1)} \right] + \sum_{m=m+1}^M S_{nm} M_{nm}(t) \right\}. \quad (11)$$

Отклонения фактического хода производства от

планового могут привести к невыполнению плана производства. Допустим, что возникающие при этом затраты пропорциональны величине невязки плана, т.е.

$$W(T) = \psi (R(T) - G(T)) H(R(T) - G(T)). \quad (12)$$

где H – функция Хевисайда; $R(T)$ – план производства; $G(T)$ – фактическое выполнение плана производства; T – горизонт планирования.

При этом ψ может интерпретироваться как штраф за единичное невыполнение плана.

Таким образом, рассмотрены соотношения, которые в каждый конкретный момент времени по известному состоянию межоперационных запасов и по информации о состоянии оборудования всех агрегатов системы позволяют определить затраты, которые возникают на интервале времени $[t\Delta t, (t+1)\Delta t]$.

В том случае, когда производственная система состоит из последовательности нескольких специальных агрегатов, издержки от невыполнения планового задания можно определить с помощью формулы:

$$W(T) = \sum_{m=1}^M \psi_m (R_m(T) - G_m(T)) H(R_m(T) - G_m(T)) + \sigma \left(\sum_{m=1}^M R_n(T) - \sum_{m=1}^M G_m(T) \right) H \left(\sum_{m=1}^M R_n(T) - \sum_{m=1}^M G_m(T) \right), \quad (13)$$

где σ – штраф за единицу невыполнения плана по объему товарной продукции, M – множество видов полуфабрикатов.

2. *Разработка критерия эффективности.*

Известно, что эффективность систем управления, в конечном счете, в наибольшей степени зависит от критериев оптимизации управленческих решений, а выбор этих критериев определяется особенностями цели системы.

Кроме того, при разработке критерия эффективности оперативных решений по управлению производством нельзя ограничиваться только одним критерием оптимальности, поскольку практическая значимость такой задачи будет незначительной, поэтому при построении модели принятия решений необходимо учесть ряд критериев, позволяющих эффективно управлять производственным процессом.

Задача оперативного управления производством относится к задаче принятия решений в условиях неопределенности, которая включает в себя формирование иерархической структуры обобщенного критерия эффективности в виде соподчиненных уровней целей, подцелей и целевых функций. Критерий эффективности является достаточно расплывчатым и неопределенным, поэтому для решения поставленной задачи воспользуемся набором критериев, выбранных специалистами предприятия на основе статистических данных. Эти критерии позволят заменить исходную слабо формализованную задачу другой структурированной многокритериальной задачей.

На практике, для решения многокритериальных задач обычно используют один из следующих подходов [4, 5]:

- выбор в качестве решения задачи любого решения, которое принадлежит множеству Парето;
- обращение к экспертам для получения информации относительно преимуществ критериев и пропустимые уступки. При наличии такой информации решается задача оптимизации критерия, имеющего наибольший приоритет, а потом решается задача оптимизации наиболее преимущественно критерия из тех, которые остались;
- синтез глобального критерия путем функционального объединения частных критериев.

Отсутствие единого достаточно представительского показателя хозяйственной деятельности предприятия обуславливает существенные сложности при выборе критерия оптимальности оперативного управления. При решении заданий оптимизации производства очень часто в качестве критерия выбирают комбинацию нескольких показателей из действующей системы технико-экономических показателей, принятых при планировании и анализе производственной деятельности.

В условиях производства кремниевых структур при разработке критерия эффективности оперативных решений целесообразно учесть издержки от дефицита полуфабрикатов, издержки от связывания оборотных средств и издержки от невыполнения планового задания.

Рассмотрим динамику межоперационных запасов для оценки издержек от рассогласования стадий производства. Реально межоперационные запасы между n -ым и $n+1$ -ым агрегатами содержат две

составляющие: полуфабрикаты, которые содержатся в выходном накопителе n -го агрегата, и полуфабрикаты, которые содержатся во входном накопителе $n+1$ -го агрегата. Поскольку при оценивании затрат от пролеживания или дефицита полуфабрикатов необходимо учитывать состояние этих обоих накопителей, то при синтезе критерия будет рассматриваться один межоперационный накопитель, содержимое которого будет соответствовать сумме содержимого рассматриваемых накопителей. При этом динамика межоперационного запаса может быть описана следующим уравнением:

$$Z_{n+1}(t) = Z_{n+1}(0) + \sum_{i=1}^t \hat{A}_n(i) - \sum_{i=1}^t C_{n+1}(i), \quad (14)$$

где $Z_{n+1}(t)$ – величина запаса в конце t -го интервала времени, C_n и \hat{A}_n – соответственно обозначают объемы запуска и выпуска для n -го агрегата.

$$\hat{A}_n(i) = j(C_n(i), \eta_n(i)) = j(Z_n(i-1), N_n(i), \eta_n(i)), \quad (14)$$

$$a C_{n+1}(i) = \phi(Z_{n+1}(i), N_{n+1}(i)), \quad (15)$$

где $\eta_n(i)$ – коэффициент выхода кондиционных полуфабрикатов для n -го агрегата в конце t -го интервала времени, $N_n(i)$ – количество единиц на n -ом агрегате.

Отметим, что величина запаса перед некоторым агрегатом $n+1$ в заданный момент времени t зависит от начального состояния запасов на всех предыдущих агрегатах и на данном агрегате, от коэффициентов выхода кондиционных полуфабрикатов на всех предыдущих агрегатах в предыдущие моменты времени, от объемов запуска продуктов в обработку в первые $(t+1)$ моменты времени и от количества использованного оборудования агрегата $n+1$ и всех предыдущих агрегатов.

При наличии на агрегатах нескольких групп однотипного оборудования величина запаса перед некоторым агрегатом $n+1$ в заданный момент времени Δt :

$$Z_{nm}(t) = F(V_m(t-n), \eta_m, Z_m(0), N_m), \quad m = \overline{1, M}, \quad (16)$$

где $Z_m(0)$ – величина запаса на предыдущем агрегате в момент времени $t=0$, V_m – объем начального состояния запасов на всех предыдущих агрегатах и на данном агрегате.

Поскольку издержки от невыполнения планового задания определяются динамикой межоперационных запасов, то, соответственно, есть возможность влиять на их величину путем принятия оперативных решений.

В нашем случае в состав n -го агрегата входит K_n групп однотипного оборудования, поэтому в качестве критерия эффективности распределения полуфабрикатов принят критерий условной прибыли, которую дает агрегат за время Δt :

$$Y_n(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K_n} (N_{nm}^{uk}(t) J_{nm}^k \{ \eta_{nm}^k(t) \} U C_{nm} - P_n^k N_{nm}^{uk}(t)), \quad (17)$$

где $N_{nm}^{uk}(t)$ – условное количество единиц оборудования k -ой группы, на которых выполняется обработка полуфабрикатов m -го вида; I_{nm}^k – количество одновременно обрабатываемых полуфабрикатов m -го вида на одной единице оборудования n -го агрегата оборудования k -ой группы; η_{nm}^k – коэффициент выхода кондиционного полуфабриката m -го вида на n -м агрегате оборудования k -ой группы; Uc_{nm} – условная цена единицы полуфабрикатов m -го вида после обработки на n -м агрегате; P_n^k – затраты, связанные с обеспечением работы единицы оборудования k -ой группы.

Таким образом, по полученным результатам видно, что состоянием межоперационных запасов можно управлять путем выбора соответствующих значений объемов запуска продукции в производство и путем распределения оборудования между видами полуфабрикатов на каждом агрегате.

В качестве критерия эффективности оперативных решений по управлению производством для запуска объемов продукции в производство, который реализуется в некоторый момент времени t , целесообразно взять критерий вида:

$$E(V(t)) = M \left\{ \gamma_1 \sum_{j=t}^T \sum_{n=1}^N A_n^{pr}(j) + \gamma_2 \sum_{j=t}^T \sum_{n=1}^N B_n^{oc}(j) + \gamma_3 W(T) \right\},$$

где $A_n^{pr}(j)$, $B_n^{oc}(j)$ и $W(T)$ определены ранее в (6), (11) и (13) соответственно, M – символ математического ожидания, а γ_j , $j = 1, 2, 3$ – весовые коэффициенты составных критерия: затрат от простоя оборудования, затрат от связывания оборотных средств и затрат от невыполнения плановых заданий соответственно.

ВЫВОДЫ.

1. По результатам исследований можно утверждать, что для увеличения эффективности оперативного управления производством и снижения

издержек производства необходимо учитывать затраты от рассогласования хода производства и от невыполнения планового задания при разработке критерия качества.

2. Учет весовых коэффициентов составных критерия эффективности приведет к дополнительным изменениям оперативных решений, что в конечном итоге увеличит экономическую эффективность.

3. Впервые на основе теоретического анализа затрат от рассогласования стадий оперативного управления процессом производства кремниевых структур синтезирован критерий эффективности управленческих решений по регулированию производственного процесса, что представляет собой ожидаемую взвешенную сумму затрат от простоя оборудования, пролеживания полуфабрикатов и от возможного невыполнения плана производства. Предложено использование весовых коэффициентов – составляющих критерия эффективности, что обеспечило возможность учета при утверждении решений относительной важности разных видов затрат, с точки зрения лица, принимающего решения, в условиях текущего состояния производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко О.А. Керуючі системи. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.
2. Оксанич И.Г., Рылова Н.В. Анализ издержек производства от рассогласования стадий производственного процесса // III Международная научно-практическая конференция «Полупроводниковые материалы, информационные технологии и фотovoltaика», 2014. – С. 192–194.
3. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
4. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 342 с.
5. Гермеер В.Ю. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 387 с.

DEVELOPMENT OF EFFICIENCY CRITERION FOR OPERATIONAL DECISIONS TO CONTROL THE PROCESSES OF SILICON STRUCTURES PRODUCTION

I. Oksanich, N. Rylova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: rylovanataly@rambler.ru

This paper analyzes the causes of costs that arise from a mismatch of stages of silicon structures, namely the costs of deficit and in-process queue, the relations for estimating these costs are obtained. We developed efficiency criterion for operational control of process of silicon structures production, including weight factors of downtime costs, costs of binding the working capital and costs of failure to meet plan goals.

Key words: operational control, silicon structures production, efficiency criterion, cost of production, semi-finished products, interoperable stocks.

REFERENCES

1. Borisenko, O.A. (2004) *Keruyuchi systemy* [Control systems], Centr navchalnoi literatury, Kiev, Ukraine.
2. Oksanich, I.H., Rylova, N.V. (2014) “Analysis of the production costs of a mismatch stages of the production process”, *III International Scientific-Practical Conference-ence "Semiconductor materials, information technology and photovoltaics*, pp. 192–194.
3. Pervozvanskiy, A.A. (1975) *Matematicheskiye modeli v upravleniyi proizvodstvom* [Mathematical

models in production management], Nauka, Moscow, Russia.

4. Podinovskiy, V.V., Nogin, V.D. (1982) *Pareto-optimalnyie resheniya mnogokriterialnykh zadach* [Pareto-optimal solutions of multiobjective problems], Nauka, Moscow, Russia.

5. Germeer, V.Y. (1971) *Vvedeniye v teoriyu issledovaniya operatsiy* [Introduction to Operations Research], Nauka, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 15.09.2014.