

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ ПРИОРИТЕТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ

А.Е. Бром, Ю.Л. Масленникова (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Представлен подход к оценке организационной устойчивости опытного производства, учитывающий изменения в очередности выполнения заказов и число перестановок деталиеопераций по станкам; обосновано введение весовых коэффициентов, отражающих экономические издержки при изменении приоритетов. Приведен анализ значений весовых коэффициентов и показателя организационной устойчивости в различных производственных ситуациях с использованием базы заказов опытного производства ФГУП "НАМИ".

Ключевые слова: организационная устойчивость, опытное производство, оперативное планирование, приоритетность заказов, машиностроение, автоматизация.

Государственная политика импортозамещения нацелена на появление высокотехнологичных инноваций в отечественном машиностроении, рост их потребления на внутреннем рынке и увеличение объема экспорта. Площадкой изготовления сложной инновационной техники является опытное производство.

Специфика опытного производства заключается в исследовательском характере работ, широкой номенклатуре производимых изделий, уникальности продукции, более того, произведенная техника является базой для дальнейших доработок дизайна, конструкции, технологических и организационных новшеств, отражает результаты научных исследований и проектирования.

Основа управления производством – планирование, так как оно обеспечивает уменьшение производственной себестоимости, сдачу заказа в срок, повышение производительности. Управление на опытном производстве осуществляется на уровне оперативного планирования в связи с особенностями опытного производства.

Начиная с XX века на производстве для автоматизации планирования используются ERP, MES, APS системы. Преимущества заключаются в минимизации рутинных, шаблонных процессов, которые присущи составлению планов, сокращении сроков подготовки планов, увеличении их гибкости, повышении эффективности производства, снижении затрат. Такие системы учитывают текущую загрузку оборудования и состояние обработки изделий, способны к детализации планирования и управлению на уровне цехов. Однако не каждое отечественное опытное предприятие способно обеспечить внедрение таких систем.

В силу специфики опытного производства происходят нарушения заранее заданной последовательности выполнения заказов, что может быть обусловлено следующими факторами:

- смена конструкторской документации;
- смена технологического процесса;
- задержка конструкторской документации;
- брак на производстве;
- переналадка оборудования;
- потеря информации между цехами;
- обнаружение недостатка ресурсов в процессе выполнения заказа;
- появление срочных заказов.

Проблеме обеспечения устойчивости производственных процессов посвящено много научно-практических работ [1-7]. В своих трудах авторы учитывали разные уровни планирования, изучали методы предупреждения и ликвидации отклонений от плана, гибкость реакции на меняющуюся конъюнктуру рынка, способность сохранения объемов реализации продукции, поднимали вопрос экологичности производства в рамках понятия его устойчивости. Однако при оценке устойчивости производства они не учитывают возможные нарушения расписания выполнения производственных операций ввиду изменения их последовательности, априори предполагая, что расчетные плановые модели адекватно отражают производственную ситуацию.

Очередность выполнения операций на имеющемся оборудовании задает связи производственной структуры, и для опытного производства характерно наличие сложных производственных контуров, что обусловлено его предназначением – производством опытных (единичных) образцов техники с новыми функциональными/конструктивными характеристиками. Оперативный план, в котором рассчитывается и утверждается очередность выполнения операций по станкам с учетом имеющегося рабочего персонала, должен обеспечивать выполнение заказов в заданной последовательности, в заданное время и в соответствии с плановыми экономическими показателями.

Таким образом, организационная устойчивость опытного производства – это способность производственной системы, включающей основные элементы производственной структуры (число и состав оборудования, число и состав персонала, набор выполняемых деталиеопераций по каждому виду оборудования), выполнять основные функции по изготовлению опытных/единичных образцов изделий при различных возмущающих воздействиях в заданные (плановые) сроки.

Незапланированные отклонения от расписания, обусловленные появлением срочных заказов любой природы (например, это может быть доводка образца после испытаний, исправление дефектов конструкции и т.д.), нарушение очередности выполнения операций на каком-либо участке может привести к простоям последующих производственных участков, большим издержкам по восстановлению запланированного

ритма производства, значительному удлинению сроков выполнения заказов. Следовательно, опытное производство будет функционировать устойчиво, если исходный оперативный план устойчив к появлению сильных внешних возмущений, приводящих к изменению приоритетности выполнения заказов; в идеальной ситуации очередность и число выполняемых деталяеопераций по каждому виду оборудования должны оставаться неизменными.

Таким образом, показатель организационной устойчивости опытного производства должен отражать состав оборудования, набор и последовательность выполнения технологических операций, чувствительность исходного плана к появлению издержек, вызванных появлением срочных заказов.

Пусть L — число станков, участвующих в оперативно-производственном плане ($j=1, \dots, L$); K_j — число различных операций, выполняемых на j -ом станке в исходном производственном плане ($k=1, \dots, K_j$). При оценке организационной устойчивости производственных процессов необходимо учитывать возможные перестановки на j -ом станке по выполнению k -ой операции (вариации исходного технологического маршрута) γ_k^j , возникающие по причине изменения приоритетности выполнения заказов; множество операций, повысивших очередность выполнения в новом оперативно-производственном плане Ω_n ; число операций, очередность которых снижена ν_r .

В таком случае показатель организационной устойчивости представляет собой сумму трех слагаемых [7]:

$$U_{\text{ст}} = \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^{K_j} \gamma_k^j \varepsilon_k^j + \sum_{s \in \nu_t} \lambda_s + \sum_{r \in \Omega_n} \rho_r \geq 1,$$

где ε_k^j — весовой коэффициент одной перестановки на k -ой операции j -го станка.

Описания весовых коэффициентов для исходного оперативно-производственного плана и их значения представлены в табл. 1.

Сумма весовых коэффициентов приоритетов $\lambda_s + \rho_r = 1$. При изменении очередности выполнения заказов, приоритет одного заказа увеличивается и

снижается приоритет другого. Однако, в силу специфики опытного производства, наличия квалифицированного персонала широкой специализации и специального оборудования, возможно параллельное выполнение заказов, без снижения приоритетности, и $\lambda_s = \rho_r = 0,5$.

Выделим три производственные ситуации, отражающие разные значения весовых коэффициентов и показателя организационной устойчивости производства в условиях изменений очередности выполнения заказов.

1. Приоритет выполнения заказов не меняется, тогда число перестановок $\gamma_k^j = 0$, значения весовых коэффициентов ε_k^j , λ_s , ρ_r остаются неизменными, оперативный план сохраняет устойчивость в соответствии с исходным расписанием, следовательно, показатель организационной устойчивости $U_{\text{ст}} = 1$.

2. Приоритет выполнения заказов меняется, но это не приводит к перестановкам операций в силу наличия персонала и оборудования на производстве для параллельного выполнения заказов; $\gamma_k^j = 0$, $U_{\text{ст}} = 1$.

Покажем на примере опытного производства ФГУП «НАМИ» ситуацию, при которой меняется приоритет заказов, но организационная устойчивость сохраняется. В рамках опытного производства ФГУП «НАМИ» выполняются работы по изготовлению спецавтомобилей, беспилотников, гибридных автомобилей, комплектующих, интеллектуальных транспортных систем, оказываются услуги быстрого прототипирования, макетного производства и т.д.

Для анализа было выбрано два заказа:

-заказ №1 — изготовление подставки под домкрат, который включает следующие операции: слесарная зачистка, сборка под сварку, сварка;

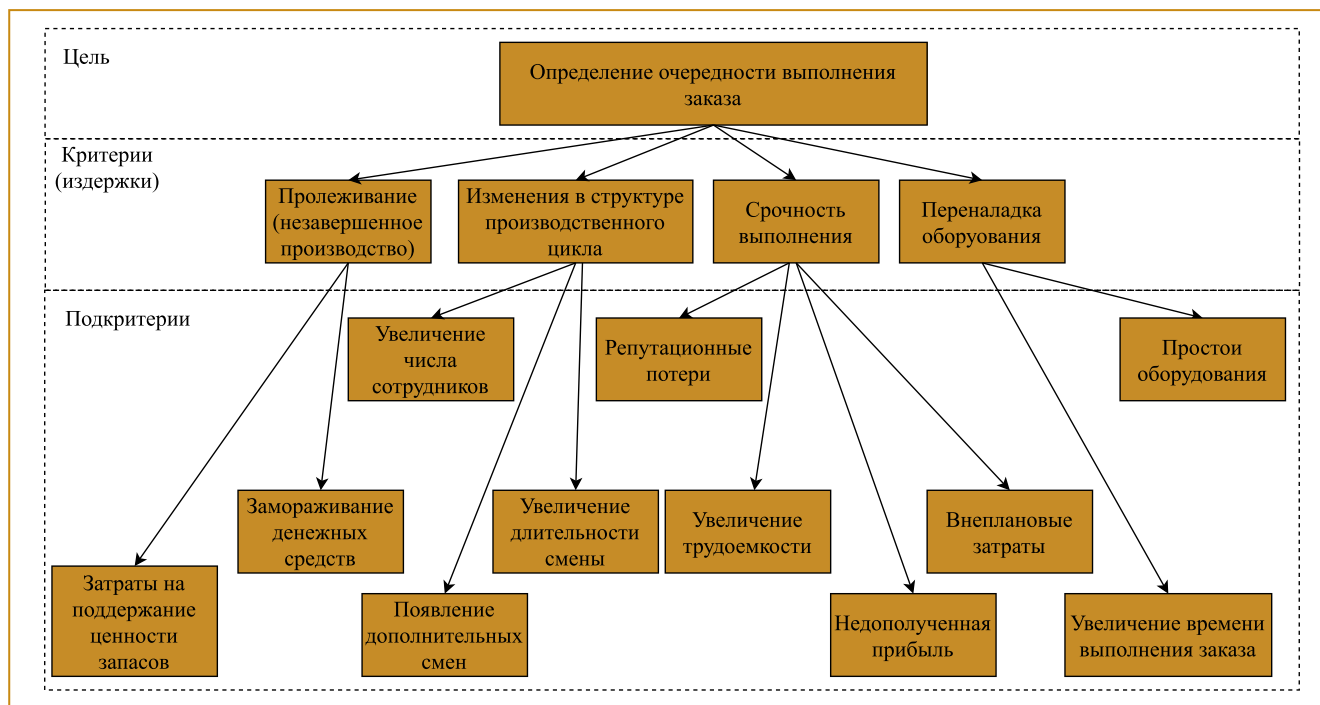
-заказ №2 — изготовление трубы рамы, включает операции: резка на ленточной пиле, снятие заусенцев.

На опытное производство ФГУП «НАМИ» поступил срочный заказ «обивка крыши», включающий операции: подготовка формы, изготовление методом вакуумной диффузии, слесарная обработка, покраска.

Несмотря на появление срочного заказа и изменения приоритетов выполнения заказов, сохраняется исходный оперативный план, так как вышеперечисленные операции будут осуществляться на разных видах

Таблица 1. Описание весовых коэффициентов организационной устойчивости

Коэффициент	Описание	Значение
ε_k^j	Весовой коэффициент перестановки, вызванной изменениями в очередности выполнения заказов, что ведет к изменениям в маршрутной карте и требует значительных дополнительных издержек (дополнительные трудозатраты и перемещения), являющихся функцией от числа перестановок в исходном плане $Z=f(\gamma_k^j)$.	0
λ_s	Коэффициент отражает приоритет s -х операций по заказу, не вошедшему в новый оперативный план; изменения очередности выполнения такого заказа не приведет к значимым для производства потерям.	$0 \leq \lambda_s \leq 1$
ρ_r	Коэффициент отражает приоритет r -ых операций, вошедших в новый план с учетом появления издержек, связанных с переналадкой оборудования, дополнительными перемещениями, простоями т.д.	$0 \leq \rho_r \leq 1$



Дерево иерархий критериев при определении приоритета заказа

Таблица 2. Состав заказов по оборудованию и операциям

Оборудование	Заказ №1	Заказ №2
Лазерный станок	Лазерная резка	Лазерная резка
Слесарный инструмент	Слесарная зачистка	Слесарная зачистка
Промышленная мойка	Мойка деталей	-
Плита правочная	-	Правка вручную на плите

Приведем пример оценки организационной устойчивости на опытном производстве ФГУП «НАМИ». Сформирован и находится в процессе реализации оперативного производственного плана по изготовлению заказа №1—

изготовленные скобы, включающий операции: лазерная резка, слесарная зачистка, мойка деталей. Появляется срочный внеплановый заказ №2 — изготовление усилителя рамы, включающий лазерную резку, слесарную зачистку, правку вручную на плите. На основе метода анализа иерархий оценим приоритеты заказов. На рисунке представлена схема трехступенчатой иерархии определения приоритета заказа. Первая ступень иерархии состоит из критериев издержек: изменения в структуре производственного цикла, переналадка оборудования, пролеживание (незавершенное производство), срочность выполнения заказа. На втором уровне иерархии отображены подкритерии, которые напрямую влияют на основные критерии. Недополученной прибылью можно считать неосуществленную возможность получения дополнительного дохода в ситуации поступления срочного заказа от стороннего потребителя (заказчика).

В рассматриваемом случае для заказа №1 $\lambda_s = 0,435$, для срочного заказа №2 $\rho_r = 0,565$. Эксперты высоко оценили срочность изготовления этого заказа, и хотя второй заказ вызовет определенные издержки (что естественно), и приведет к изменению очередности выполнения технологических операций, он будет выполняться в первую очередь.

оборудования (состав оборудования позволяет выполнить срочный заказ, не внося изменений в исходный план).

3. Приоритет заказов меняется, что приводит к изменению очередности выполнения операций по станкам, число перестановок $\gamma_k^j > 0$, значения весовых коэффициентов по перестановкам операций $\varepsilon_k^j > 0$, и $U_{cm} > 1$, что говорит о нарушении организационной устойчивости, вызванном появлением срочных заказов.

Для определения приоритета выполнения заказа следует воспользоваться многокритериальными методами принятия решений (MCDM), например, SAW, TOPSIS, ELECTRE I, ELECTRE II или AHP. MCDM занимаются структурированием и решением проблем планирования, связанных с несколькими критериями. На сегодняшний день существуют программные продукты, автоматизирующие поиск лучшей альтернативы, что обеспечивает простоту и удобство использования этих методов. Но, несмотря на большой выбор среди многокритериальных методов, следует использовать тот метод, который позволит в качестве критериев оценки выделить все основные виды производственных издержек, возникающих в результате изменения исходного оперативного плана.

Таблица 3. Коэффициент издержек, обусловленный перестановками

Исходные данные / Перестановки	γ_1^1	γ_2^2	γ_3^3
дополнительные трудозатраты на подготовительно-заключительные работы	0,3	0,2	0,1
дополнительное время на переналадку оборудования;	0,1	0	0
внеплановые затраты на производство	0,1	0,2	0
пролеживание запасов по заказу №1, обусловленное загрузкой персонала выполнением заказа № 2	0,4	0,3	0,2
увеличение трудоемкости	0	0	0,3
увеличение длительности смены	0	0	0,3
дополнительные перемещения	0	0	0,1

Таким образом, предложенный подход к оценке организационной устойчивости опытного производства отражает результаты возможных изменений в исходном плане выполнения операций, вызванных нарушением приоритетности заказов. Учет в показателе устойчивости очередности заказов позволит оценить целесообразность предстоящих перестановок в организационных и экономических аспектах производства. Несомненно, смена приоритетов выполнения заказов, приводящая к увеличению числа перестановок операций по деталь-обработке на каждом станке,

Следующим шагом необходимо оценить число перестановок выполнения технологических операций, вызванных выполнением срочного заказа. Заказы состоят из трех видов операций, выполняемых на трех разных видах оборудования (табл. 2).

Выполнение срочного заказа приводят к трем перестановкам на трех видах оборудования.

$\gamma_1^1=1$. По 1-му станку в технологической карте происходит перестановка 1-ой операции лазерной резки по заказу №1 на операцию по заказу №2. Так как станок специализированный, наименование операции не меняется.

$\gamma_2^2=1$. Далее по технологическому маршруту нового оперативного плана происходит слесарная зачистка аналогично исходному оперативному плану. Слесарный инструмент используется тот же, что и для первого заказа, но происходит перестановка операции по заказу №1 на операцию по заказу №2.

$\gamma_3^3=2$. Далее по маршрутной карте происходит смена и технологической операции, и инструмента. Операция по мойке деталей сменяется на операцию правки вручную на плите.

Следовательно, суммарное число перестановок $\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \gamma^k = 4$.

Далее были выделены основные виды издержек, и экспертным путем были заданы весовые коэффициенты издержек по каждой перестановке ε_k^j (табл. 3).

Показатель устойчивости $U_{cm}=3,6$. В результате расчетов показатель устойчивости $U_{cm}>1$, что свидетельствует о нарушении организационной устойчивости производства при срочном выполнении заказа №2.

ведет к колоссальным издержкам и смещению сроков сдачи продукции потребителю, а разработка инструментов по оценке организационной устойчивости и их перевод в программный код будут полезны для эффективного оперативного планирования на опытном производстве.

Список литературы

1. Сатановский Р.Л. Повышение устойчивости производства на основе его специализации. ЛДНТП. 1976.
2. Чупров С.В. Мониторинг устойчивости производственных систем. Иркутск: Изд. БГУЭП. 2005. - 232 с.
3. Чупров С.В. Диагностика устойчивости промышленного предприятия: Системно-методологические проблемы и подходы. Иркутск: Изд. БГУЭП. 2004. - 276 с.
4. Канчавелли А.Д., Колобов А.А., Омельченко И.Н. и др. Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы: логистикоориентированное проектирование бизнеса. Под. ред. А.А. Колобова, И.Н. Омельченко. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 600 с.
5. Платонов А.М., Плешков С.Ю. Проблемы устойчивого функционирования строительного предприятия в условиях экономической нестабильности // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2011. № 5. С. 74–83.
6. Андреев А.В., Яковлев В.В., Короткая Т.Ю. Теоретические основы надежности технических систем. Уч. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 164 с.
7. Мищенко А.В. Методы управления ограниченными ресурсами в логистике. Уч. пособие. М. 2013. 239 с.

Бром Алла Ефимовна — д-р техн. наук, проф. каф. «Промышленная логистика»,
Масленникова Юлия Леонидовна — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана.
 E-mail: abrom@yandex.ru, maslennikova.yuliya@yandex.ru

В журнале "Автоматизация в промышленности". 2021. №7 в статье М.Е. Баландова, А.В. Иванова, С.А. Лебедева, А.А. Федосова, Д.Н. Шабановой «Применение дата-ориентированного подхода в процессах инжиниринга как элемент по-

вышения эффективности проектной деятельности на примере АО «НИПИГАЗ» на стр. 46 допущена неточность в расшифровке аббревиатуры «Амурский ГХК». Следует читать: Амурский газохимический комплекс.