

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ (Часть 2)

*О.В. Мясникова*

## Выбор оптимального проекта производственного процесса на основе многокритериального балльно-рейтингового анализа матричных форм

Оптимальный проект производственного процесса (ПП) выбирается на основе многокритериального балльно-рейтингового анализа матричных форм, в которых представлена совокупность критериев, оцененных экспертами по результатам аналитических расчетов. *Матрица значений критериев*  $P=(P_{ij})_{nm}$ , характеризует набор конкурирующих проектов ( $j=1 \dots n$ ) по фиксированному набору критериев ( $i=1 \dots m$ ), а объем инвестиций в разрезе набора проектов ( $j=1 \dots n$ ) отражается в *матрице инвестиций*  $I=(i_{ij})_{1n}$ .

Оценка матричных форм может осуществляться по следующим правилам.

1. **Правило абсолютного победителя** – применяется, когда среди конкурирующих проектов можно выделить наилучший по всем параметрам:

$$\sum_{i=1}^n v(r_i, r_i^*) = n, \quad (1)$$

где  $v(r_i, r_i^*) = \begin{cases} 1, \text{если} \dots x_i \geq r_i^* \\ 0, \text{если} \dots x_i < r_i^* \end{cases}$  функцио-

нальная зависимость  $i$ -го критерия;

$n$  – количество критериев;

$r_i$  – значение  $i$ -го критерия;

$r_i^*$  – пороговое значение критерия.

Такая ситуация редко встречается в реальной жизни.

2. **Правило выбора по Парето** основано на попарном сравнении проектов на соответствие критерию Парето: наилучшим является тот проект, для которого не существует другого по всем показателям не хуже его, а хотя бы по одному лучше.

3. **Правило выбора по Борда** предусматривает более жесткий критерий выбора: варианты ранжируются по каждому показателю в порядке убывания и победителем становится проект с максимальным значением суммарного ранга. Главным недостатком метода является незаконный переход от шкалы значений показателей к относительной шкале рангов. Для его устранения применим два вида преобразований.

### Преобразование 1: нормализация матрицы значений критериев

Используемые критерии имеют разные единицы измерения, а нормативы эффективности могут принимать различные формы (числовые меры в широком и ограниченном диапазоне значений; двоичные меры (истина/ложь, да/нет); меры, которые могут принимать одно или более из конечных множеств значений). Разномерные значения приводим в сопоставимый вид через *нормализацию матрицы значений критериев* по формулам:

$$B_{ij} = \frac{P_{ij}}{\max_i P_{ij}}, \quad (2)$$

$$B_{ij} = \frac{\min_i P_{ij}}{P_{ij}}, \quad (3)$$

где:  $B_{ij}$  – балл по  $i$ -му критерию полученный  $j$ -тым проектом;

$P_{ji}$  – показатель по  $i$ -му критерию полученный  $j$ -м проектом.

В формуле (2) учитывается, что увеличение значение  $i$ -го критерия (например, чистая прибыль, рентабельность) способствует росту эффективности ПП, а в (3), что увеличение значение  $i$ -го критерия приводит к снижению эффективности ПП (например, риск, затраты на страхование).

Преобразование позволяет перейти от шкалы значений к относительной шкале баллов, сформировать **матрицу баллов**  $B=(B_{ji})nm$  и устранить невозможность суммирования значения критериев для получения интегральной оценки проекта ПП.

**Преобразование 2: корректировка матрицы баллов через матрицу весовых коэффициентов**

Основной методической сложностью является проблема адекватного и объективного назначения весовых коэффициентов. В модели их назначение основывается на результатах анализа положения предприятия в многомерном пространстве и выделения приоритетных направлений его развития, подчиненных целевой установке создания условий для продолжения и улучшения процесса функционирования. Анализ уровня развития позволяет сформировать **матрицу приоритетных направлений развития предприятия** – весовых коэффициентов  $I_t=(I_{t_{ij}})_{m1}$ , определяемых как соотношение резерва развития системы по каждому фактору к общему суммарному резерву системы, отражающих степень различия между идеальным и реальным состоянием системы на момент анализа. Так, наибольший весовой коэффициент назначается для критерия, степень невыполнения которого максимальна, что соответствует наиболее важному для совершенствования предприятия направлению. Такое назначение видится более объективным. Оно позволяет объединить в модели подходы к трактовке понятия эффективность: количественный – эффективность как соотношение результатов и затрат; целевой – как степень достижения цели, соотнесенная со степенью рациональности расходования используемых при этом ресурсов; стратегический – как степень различия между реальным и желаемым результатом.

Весовой коэффициент, отражая степень различия между желаемым и реальным состоянием и предопределяя приоритетные цели развития, корректирует значение баллов критерия по каждому проекту, что позволяет

получить **матрицу условных выигрышей**  $V=(v_{ji})nm$ , в которой элементы рассчитаны по формуле:

$$v_{ji} = B_{ji}\beta_{il}, \quad (4)$$

где:  $v_{ji}$  – условный выигрыш по  $i$ -му критерию при реализации  $j$ -го проекта;

$B_{ji}$  – балл, полученный  $j$ -м проектом по  $i$ -му критерию;

$\beta_{il}$  – весовой коэффициент по  $i$ -му критерию.

Риск как последствия ошибочного решения определяем в виде условных потерь (недополучение выигрыша) в случае не принятия проекта, обеспечивающего максимальный выигрыш, и формируем **матрицу риска**  $R=(r_{ji})nm$ , в которой элементы рассчитаны по формуле:

$$r_{ji} = \max_i v_{ji} - v_{ji}, \quad (5)$$

где:  $r_{ji}$  – риск по  $i$ -му критерию при реализации  $j$ -того проекта;

$v_{ji}$  – условный выигрыш по  $i$ -му критерию для  $j$ -того проекта.

Если же элементы матрицы условных выигрышей  $V=(v_{ji})nm$  разделить на элементы матрицы инвестиций  $I=(I_{ij})1n$ , то полученная **матрица удельных выигрышей**  $W=(w_{ji})nm$  отразит размер условного выигрыша на единицу затрачиваемых инвестиций, рассчитанный по формуле:

$$w_{ji} = \frac{v_{ji}}{I_{ij}}, \quad (6)$$

где:  $w_{ji}$  – удельный выигрыш по  $i$ -му критерию при реализации  $j$ -го проекта;

$v_{ji}$  – условный выигрыш по  $i$ -му критерию для  $j$ -того проекта;

$I_{ij}$  – инвестиции на осуществление  $j$ -го проекта.

Произведение матриц баллов  $B=(B_{ji})nm$  и весовых коэффициентов  $I_t=(I_{t_{ij}})m1$  дает **матрицу интегрального эффекта**  $\Theta=(\Theta_{jl})n1$ , в которой:

$$\Theta_{jl} = \sum_{i=1}^m B_{ji}\beta_{il}, \quad (7)$$

где:  $\Theta_{jl}$  – интегральный эффект  $j$ -го проекта;

$B_{ji}$  – балл, полученный проектом по  $i$ -му критерию;

$\beta_{il}$  – весовой коэффициент по  $i$ -му критерию.

**Матрица коэффициентов эффективности** проектов  $K\Theta=(K\Theta_{jl})n1$  определяется через деление элементов матрицы интегрального эффекта  $\Theta=(\Theta_{jl})n1$  на элементы матрицы инвестиций  $I=(I_{ij})1n$ , т.е. используется формула:

$$K\Theta_{jl} = \frac{\Theta_{jl}}{I_{lj}}, \quad (8)$$

где:  $\mathcal{E}_j$  – интегральный эффект j-го проекта;  
 $I_j$  – инвестиции на осуществление j-го проекта.

Для **ранжирования и выбора наиболее эффективного проекта ПП** анализируем промежуточные матрицы условных выигрышей, риска и удельных выигрышей и итоговые матрицы интегрального эффекта, риска и коэффициентов эффективности проектов по нескольким критериям оптимальности.

Рациональным является использование в анализе промежуточных матриц условных выигрышей и удельных выигрышей критерия оптимизации Гурвица:

$$j = \max_j \{ \alpha \min_k F_{kj} + (1 - \alpha) \max_k F_{kj} \}, \quad (9)$$

где: j – номер оптимального проекта;  
 $\alpha$  – коэффициента пессимизма  $0 < \alpha < 1$  (принимаем 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1);

$F_{kj}$  – оценка j-й альтернативы применяемого решения при k-м варианте ситуации.

Это позволяет выделять стратегии принятия оптимизационных решений:

1) при  $\pm=0$  и  $\pm=0,25$  – стратегия «крайнего оптимизма» (максимаксная), надежда на максимальный выигрыш;

2) при  $\pm=0,5$  – стратегия компромиссного решения по принципу не впадать ни в крайний пессимизм, ни в неоправданный оптимизм;

3) при  $\pm=0,75$  и  $\pm=1$  – пессимистическая стратегия. При  $\pm=1$  критерий Гурвица превращается в максиминный критерий Вальда отражающий стратегию ориентации на наихудшие условия, «перестраховочный подход», рассматривается как крайний случай.

Промежуточную матрицу риска  $R=(r_{ji})_{nm}$  анализируем по критерию Гурвица, ориентируясь на минимизацию риска ошибочных решений по формуле:

$$j = \min_j \{ \alpha \max_i r_{ij} + (1 - \alpha) \min_i r_{ij} \}, \quad (10)$$

где: j – номер оптимального проекта;  
 $\alpha$  – коэффициента пессимизма  $0 < \alpha < 1$ ;  
 $r_{ij}$  – риск по i-му критерию при реализации j-го проекта.

Крайне пессимистический критерий Сэвиджа ориентирует на минимальное значение максимального риска и рассчитывается по формуле:

$$j = \min_j \max_i r_{ji}, \quad (11)$$

где: j – номер оптимального проекта;  
 $r_{ji}$  – риск по i-му критерию при реализации j-го проекта.

Итоговые матрицы интегрального эффекта и коэффициентов эффективности проектов (размерностью n на l, где n – количество проектов) ранжируем по максиминному критерию.

Исходя из совпадения результатов, делаем определенный вывод о стратегии принятия оптимизационного решения, что дает наиболее объективную оценку.

На рисунке 1 показана принципиальная схема осуществления многокритериальной балльно-рейтинговой модели оптимизации производственных процессов в ходе организационного проектирования [1–7].

Исходя из вышесказанного, отбор проекта ПП для финансирования можно осуществлять через ранжирование проектов по максиминному критерию оптимизации **интегрального показателя эффективности проекта ПП**:

$$\mathcal{E}_j = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{P_{ji}}{\max_i P_{ji}} \beta_i + \sum_{i=k+1}^n \frac{\min_i P_{ji}}{P_{ji}} \beta_i}{I_j}, \quad (12)$$

где:  $\mathcal{E}_j$  – интегральный показатель эффективности j-го проекта;

k – количество критериев из n-возможных, для которых увеличение значение i-го критерия способствует росту эффективности ПП;

$P_{ij}$  – показатель по i-му критерию полученный j-м проектом;

$\beta_{ij}$  – весовой коэффициент по i-му критерию;

$I_j$  – инвестиции на осуществление j-го проекта.

Ранжирование конкурирующих проектов позволяет сформировать программу развития предприятия, последовательно включая в нее проекты с высшими рангами в пределах инвестиционных возможностей предприятия.

Проект можно охарактеризовать двумерным вектором с его скалярной величиной и направлением в многомерном пространстве, компонентами которого являются эффект и инвестиции. Это дает возможность применить метод оптимального бюджетирования – метод выпуклой оболочки (рисунок 2) для выбора оптимального способа выполнения каждого проекта и оптимального их набора в пределах инвестиционных ограничений без анализа каждой возможной комбинации проектов [8].

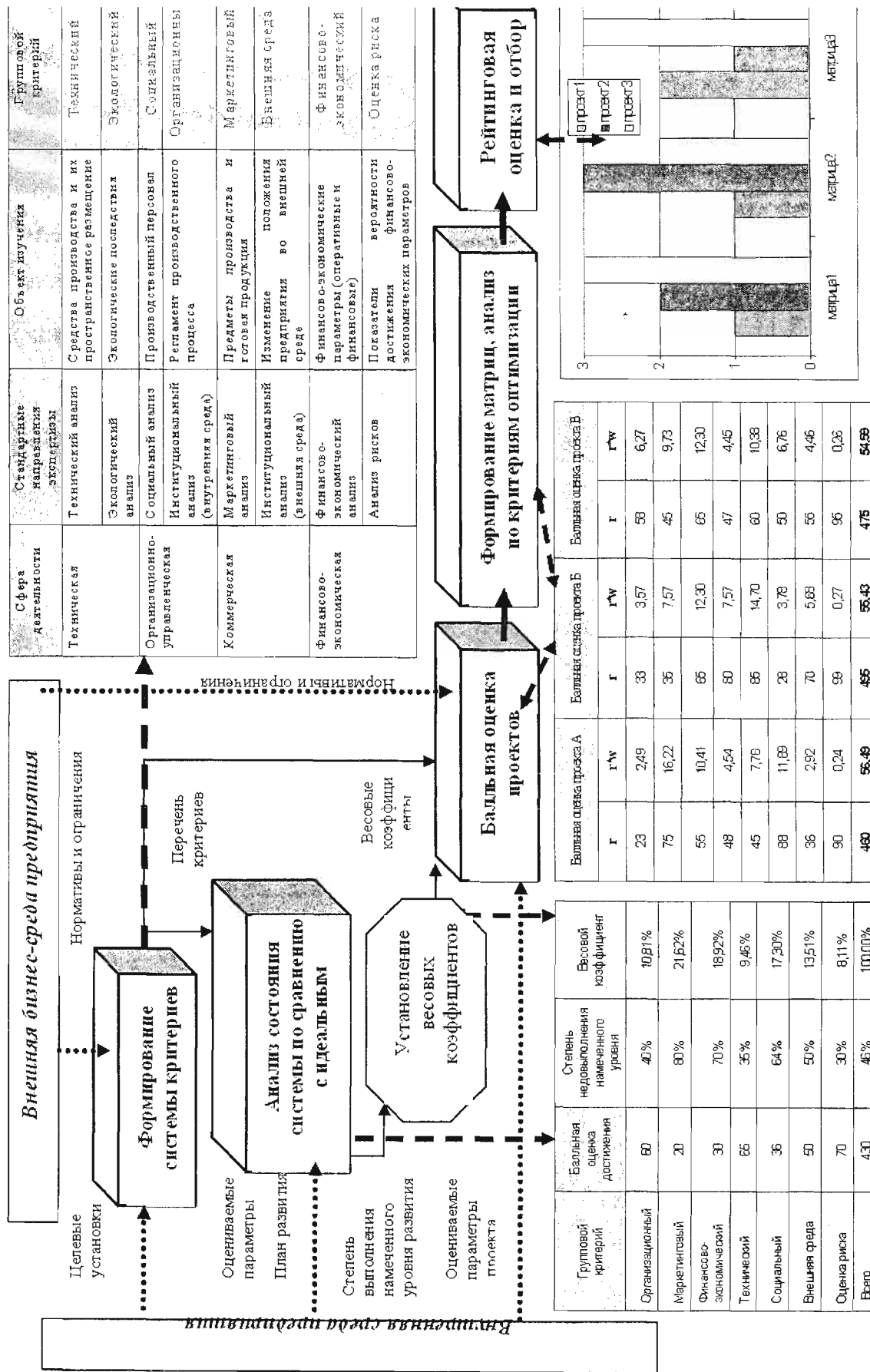


Рисунок 1 – Многокритериальная балльно-рейтинговая модель оптимизации производственных процессов

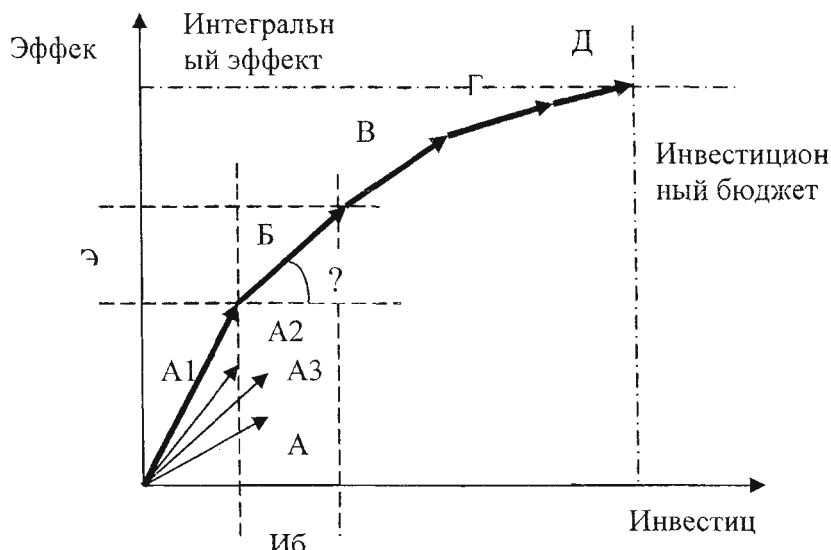


Рисунок 2 – Использование метода выпуклой оболочки в оптимизационной модели

Векторы, характеризующие альтернативные способы реализации проекта, формируют «веер», с единой начальной точкой и различными конечными, как показано на рисунке 2 для проекта А. Отношение эффекта к инвестициям, как показано для проекта Б, отражает тангенс угла  $\pm$ . Ранжирование векторов ведется в порядке убывания крутизны их наклона. По каждой альтернативе выполнения проекта в оболочку включается вариант с наибольшим рангом. Таким образом в план развития включаются векторы с наиболее крутым наклоном, которые геометрически складываются в форму выпуклой оболочки. Проекты финансируются в порядке убывания наклона векторов в оболочке.

Итак, ПП как сложная саморазвивающаяся система благодаря **гибкости** совершенствуется целенаправленным оптимизационным воздействием на ее структуру. Эффективность проекта совершенствования ПП определяется отношением интегрального эффекта от его реализации и инвестиции, которые функционально зависят от определенных оптимизационных воздействий на ПП:

$$E(OI) = \frac{VA(OI)}{I(OI)}, \quad (13)$$

где: E – интегральный показатель эффективности проекта ПП (efficiency index);

OI – оптимизационное воздействие на ПП (optimization influence);

VA – оценочный результат проекта ПП (value of assessed result);

I – инвестиции (investment).

Тогда степень отклика системы на оптимизационное воздействие определяем как производную функции эффективности:

$$R(OI) = \frac{\partial E(OI)}{\partial OI} = \frac{\frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} I(OI) - \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} VA(OI)}{(I(OI))^2}, \quad (14)$$

где: R – степень отклика системы на оптимизационное воздействие (response);

OI – оптимизационное воздействие;

E – интегральный показатель эффективности проекта;

VA – оценочный результат проекта;

I – инвестиции.

Реализация принципа оптимальности функционирования системы требует принимать такие оптимизационные воздействия на ПП, которые обеспечат положительный и максимальный отклики системы:  $R(OI) > 0$  и  $R(OI) \rightarrow \max$ .

Анализ функции отклика системы позволяет выделить следующие **виды оптимизационных воздействий**.

1. Улучшающие главную функцию ПП, обеспечивающие прирост совокупного результата при  $I(OI) = const$ :

$$R(OI) = \frac{\frac{\partial VA(OI)}{\partial OI}}{I(OI)} > 0 \text{ при } \frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} > 0, \quad (15)$$

где R – степень отклика системы на оптимизационное воздействие;

ОI – оптимизационное воздействие на ПП;

VA – оценочный результат проекта ПП;

I – инвестиции.

2. **Ресурсосберегающие**, сохраняющие выполнение главной функции ПП, обеспечивающие размер эффекта на существующем уровне, т.е. при  $VA(OI) = const$  :

$$R(OI) = -\frac{\frac{\partial I(OI)}{\partial OI} \times VA(OI)}{(I(OI))^2} > 0 \text{ при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} < 0, (16)$$

где: R – степень отклика системы на воздействие;

ОI – оптимизационное воздействие;

VA – оценочный результат проекта;

I – инвестиции.

3. **Комбинированные**, обеспечивающие

$$R(OI) \rightarrow \max \text{ при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} < 0 \text{ и при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} > 0, (17)$$

где: R – степень отклика системы на воздействие;

ОI – оптимизационное воздействие на ПП;

I – инвестиции.

4. **Негативные**, требующие инвестиций, но не обеспечивающие прироста главной функции ПП, эффекта

$$\frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} I(OI) \leq \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} VA(OI), (18)$$

где: VA – оценочный результат проекта;

ОI – оптимизационное воздействие;

I – инвестиции.

5. **Комплексные эффекты**, обеспечивающие дополнительные конкурентные преимущества, напрямую не отражаемые главной функцией ПП, такие как экологический, научно-технический, социальный и т.д.

$$E(OI) = \frac{VA(OI) + \sum_{i=1}^n R_i(OI)}{I(OI) + \sum_{i=1}^n EI_i(OI)}, (19)$$

где: E – интегральный показатель эффективности проекта ПП;

ОI – оптимизационное воздействие на ПП;

VA – оценочный результат проекта ПП;

$R_i$  – сопутствующий эффект i-го типа;

I – инвестиции;

$EI_i$  – дополнительные инвестиции для обеспечения сопутствующего эффекта i-го типа (extra investment).

Таким образом, в зависимости от вида оптимизационного воздействия на ПП следует осуществлять отбор проектов для их реализации.

## Заключение

1. Базисом бизнес-системы является **производственный процесс** (ПП) – целенаправленное функционирование определенной многомерной, действующей по принципу многофакторности функционирования системы, включающей комплекс средств производства и их пространственное размещение, предметы производства, производственный персонал и рациональный регламент функционирования. Оптимизация производственного процесса создает базу для системы оптимальных управленческих процессов, а их сочетание выделяется как важнейшая составляющая эффективного менеджмента в динамичной внешней среде и поддержания конкурентоспособности.

2. **Оптимальное проектирование бизнеса и структуры управления им как количественно-качественная, многокритериальная задача** не может быть адекватно представлена в виде задачи формального выбора наилучшего варианта по однозначному, математически выраженному критерию оптимальности. Основным оптимизируемым параметром бизнес-системы является качество процесса, которое охватывает понятия «результативность», «эффективность», «адаптивность».

3. Разработана **многокритериальная балльно-рейтинговая модель оптимизации ПП в ходе организационного проектирования, основанная на матричных формах**.

Эта модель отличается от существующих тем, что она:

1) **дает организационное описание предприятия в матричной форме**, разграничивая его сферы деятельности, выделяет парные взаимозависимые критерии эффективности функционирования системы и взаимоувязывает их с стандартизированными процессами первого уровня в структуре бизнес-процесса и лицами, ответственными за принятие управленческих решений. Это позволяет объединить в одном документе процесс, ответственное лицо и оценку уровня развития процесса на определенный момент времени, т.е. решает задачу синтеза организации и упрощает процессы тактического и стратегического управления;

2) **устанавливает шкалу оценки уровня развития системы (процесса) и характеристики этапа развития**, на основе которых формируется матрица, отражающая достигнутый

на момент анализа уровень развития предприятия по фиксированному набору групповых факторов. Это позволяет через сравнение ее с матрицей идеального состояния системы либо с матрицей планируемого развития сформировать матрицу приоритетных направлений развития, отражающую степень различия между идеальным и реальным состоянием системы на момент анализа, установить весовые коэффициенты групповых критериев через отношение резерва развития системы по каждому фактору к суммарному резерву системы. Практическая значимость данной части модели заключается в том, что владелец процесса получает возможность определять и акцентировать управленческие воздействия на критические точки развития системы, обосновывать необходимость проведения реструктуризационных преобразований.

3) *дает описание проекта ПП в матричной форме*, выделяя парные взаимозависимые групповые критерии эффективности проекта в разрезе сфер деятельности предприятия, взаимоувязывает их со стандартными направлениями экспертизы проектных решений, устанавливает объект анализа (элементы ПП и последствия его функционирования для предприятия) и основные факторы, влияющие на эффективность ПП в разрезе установленных групп критериев. В соответствии с методикой построения системы сбалансированных показателей в модели сформирована система бизнес-целей, выявлены критические факторы успеха, установлены их количественные индикаторы в привязке их к конкретным сферам бизнес-процесса и групповым критериям эффективности производственных процессов, описаны частные критерии, которые отражают главные аспекты и условия реализации проекта. Практическая значимость данной части модели заключается в том, что разработанная сквозная система критериев оптимизации процесса позволяет координировать стратегические, тактические и оперативные управленческие решения по отношению к бизнес-процессу;

4) *дает возможность оценить значимость проекта ПП с позиции создания условий для продолжения и улучшения процесса функционирования предприятия* на момент анализа через весовые коэффициенты

групповых критериев. Весовой коэффициент, отражая степень различия между желаемым и реальным состоянием и предопределяя приоритетные цели развития, позволяет объединить в многокритериальной модели различные подходы к трактовке понятия эффективности: количественный – эффективность как соотношение результатов и затрат; целевой – как степень достижения цели, соотнесенная со степенью рациональности расходования используемых при этом ресурсов; стратегический – как степень различия между реальным и желаемым результатом. Практическая значимость данной части модели заключается в том, что владелец процесса получает возможность объективно учитывать значение конкретного проекта для развития данного предприятия в конкретный период времени;

5) *основана на использовании математического аппарата теории игр* при сравнительной оценке сформированных матриц параметров конкурирующих проектов ПП, которые преобразовываются (через нормализацию, введение весового коэффициента и математические действия) в промежуточные матрицы условных выигрышей, риска и удельных выигрышей и итоговые матрицы интегрального эффекта, риска и коэффициентов эффективности проектов. Переход от шкалы значений показателей к относительной шкале рангов (баллов) позволяет устранить невозможность суммирования значения различных критериев для получения интегральной оценки эффективности ПП. Оценка матриц конкурирующих проектов ПП по критериям оптимальности позволяет построить рейтинг конкурирующих проектов и осуществить выбор из них наиболее эффективного. Практическая значимость данной части модели заключается в том, что владелец процесса получает возможность в условиях неопределенности информации выбирать стратегию оптимизации ПП, сформировать программу развития путем последовательного включения в нее проектов с высшими рангами в пределах инвестиционных возможностей предприятия и в соответствии с видами оптимизационных воздействий на систему и целевыми приоритетами предприятия.

---

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Устойчивое и эффективное функционирование предприятий: проблемы и пути достижения: моногр. / авт. к-в В.И. Кудашов и др. – Минск: Изд-во МИУ, 2007. – 408 с.
- 2 Мясникова, О.В. Организация производственных процессов и оценка их эффективности / О.В. Мясникова // Труды Минского института управления. – 2006. – № 1. – С. 10–17
- 3 Мясникова, О.В. Оценка эффективности проектов организации производственных процессов // Вестнік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага ўніверсітэта. – 2007. – № 3. – С.34–39.
- 4 Мясникова, О.В. Выбор критерия оценки эффективности проектов организации производственных процессов / О.В. Мясникова // Труды Минского института управления. – 2005. – № 2. – С. 60–66.
- 5 Мясникова, О.В. Обеспечение конкурентоспособности предприятия путем оптимизации производственных систем в ходе организационного проектирования / О.В. Мясникова // Экономика и управление. – 2007. – № 1. – С. 11–21.
- 6 Мясникова, О.В. Организационное проектирование предприятия и оптимизация производственных процессов: подходы и оценка эффективности / О.В. Мясникова // Экономика и управление. – 2007. – № 3. – С. 39–55.
- 7 Мясникова, О.В. Многокритериальная модель оценки эффективности проектов организации производственных процессов / О.В. Мясникова // Научные труды преподавателей 2003 г.: сб. науч. работ / под общ. ред. В.Я. Кожара. – Минск: Частный институт управления и предпринимательства, 2004. – С. 51–58.
- 8 Goldberg, Bernard. Convex-Envelope Method of Optimal Capital Budgeting // Industrial Management. – January/February 1997.

РЕЗЮМЕ

Рассматриваются проблемы управления конкурентоспособностью предприятий через проектирование оптимальных производственных процессов.

Автор указывает, что оптимизация производственных процессов позволяет обеспечить конкурентные преимущества предприятию и повысить качество производственного процесса за счет синергетического эффекта объединения оптимальных базиса и управленческой надстройки.

Проблема проектирования бизнеса и его организационной структуры управления – задача количественно-качественная, многокритериальная, решаемая на основе сочетания математических и экспертных оценок.

Предложена многокритериальная балльно-рейтинговая модель оптимизации производственных процессов. Раскрыты алгоритм оптимизации производственного процесса, система критериев и шкала оценки уровня развития предприятия, система сбалансированных показателей эффективности производственных процессов, факторы эффективности производственных процессов. Предложена процедура выбора оптимального проекта производственного процесса на основе многокритериального балльно-рейтингового анализа матричных форм представления проектов и теории игр.

\* Статья поступила в редакцию 25 марта 2008 г.