

## **Модели, метод и информационная технология экономического мониторинга наукоемкого высокотехнологичного производства**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

**Актуальность.** Проблемы эффективного использования наукоемких технологий актуальны в силу их особой значимости для поступательного развития экономики и общества, поскольку они способствуют и обеспечивают повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет интенсивных факторов: роста производительности труда, снижения относительного уровня потребления и повышения качества использования трудовых ресурсов предприятия.

Примером наукоемкого высокотехнологичного производства (НВП) могут служить приборостроительные предприятия аэрокосмической отрасли Украины. Являясь приоритетной сферой развития экономики Украины, самолетостроение и ракетостроение характеризуются не только уникальностью и сложностью производимой продукции, но и уникальностью большинства технологических процессов и оборудования, используемых исключительно в этой отрасли машиностроения. Специальные и специализированные станки для изготовления деталей, а также сборочные приспособления и стапеля для сборки самолетных и ракетнокосмических конструкций, многочисленные стенды для проверки функциональной работоспособности сложных механических, пневмогидравлических и электронно-электрических систем летательных аппаратов (ЛА) требуют огромных капитальных вложений и трудовых затрат, которые в себестоимости изготовления продукции составляют для мелкосерийного производства (каковым является производство ЛА) 25-30 % общих затрат на изготовление.

Успешное развитие НВП зависит от многих факторов, среди которых автоматизированное управление производственной программой предприятия является одним из основных.

**Предметом исследования** являются модели, методы и информационные технологии автоматизированного управления производственной программой наукоемкого высокотехнологического производства (НВП).

**Цель** заключается в обеспечении автоматизированного управления производственной программой НВП, направленного на снижение себестоимости продукции вследствие увеличения фондоотдачи уникального оборудования с помощью разработки информационной технологии экономического мониторинга.

Исследование системы наукоемкого высокотехнологичного производства включает в себя: выявление особенностей формирования технологической себестоимости наукоемкой высокотехнологичной продукции в рыночных условиях хозяйствования и комплексной системы показателей, характеризующей функционирование НВП; разработка информационной модели взаимосвязей структурных элементов системы НВП для экономического мониторинга в структуре АСУП и процедуры оценки эффективности функционирования НВП с целью автоматизированного управления производственной программой предприятия.

В литературе для предприятий, осуществляющих серийный и массовый выпуск продукции, получила широкое распространение следующая формула расчета себестоимости продукции, основанная на экономическом подходе:

$$Z_{пр} = Z_M + Z_{п.у} + Z_{теп} + Z_{эн} + Z_{з.п} + Z_{соц.стр} + Z_{ам} + Z_{др} = \sum_{i=1}^n Z_i + Z_{ам}, \quad (1)$$

где  $Z_M$  – затраты на сырье, материалы,  $Z_{п.у}$  – затраты на покупные комплектующие изделия,  $Z_{теп}$  – затраты на тепло,  $Z_{эн}$  – затраты на энергию,  $Z_{з.п}$  – затраты на оплату труда (зарплату),  $Z_{соц.стр}$  – отчисления на соцстрахование,  $Z_{ам}$  – амортизационные отчисления,  $Z_{др}$  – прочие затраты.

Для НВП особенно актуальна проблема уменьшения себестоимости выпускаемой продукции. Один из путей ее решения – снижение доли амортизационных отчислений в себестоимости каждой единицы продукции за счет более полной загрузки основных производственных фондов (ОПФ). Поскольку величина амортизации дорогостоящего уникального по выполняемым функциям оборудования велика и может на порядок превосходить фонд заработной платы за аналогичный период, необходимо выделить ОПФ в НВП как основную структурную составляющую себестоимости такой продукции.

Параметры заказа представлены функционалом:

$$Z_i = F(T_{ij}, t_i, k_{mn}, r_i \dots), \quad i=1, 2, 3, \dots, n, \quad j=1, 2, 3, \dots, m, \quad (2)$$

где  $i$  – количество заказов;  $j$  – количество групп технологического оборудования (цеха, производственные участки, оборудование);  $t_i$  – срок выполнения  $i$ -го заказа (результаты расчетов ПЭО либо консалтинговой фирмой (КФ), согласованные с заказчиком);  $T_{ij}$  – трудоемкость выполнения работ по  $i$ -му заказу на  $j$ -ой группе технологического оборудования (данные ПЭО, либо независимой консалтинговой фирмой (КФ));  $k_{mn}$  – коэффициент параллельно-последовательного выполнения работ на  $j$ -ой группе технологического оборудования по  $i$ -му заказу;  $r_i$  – приоритет заказа (выполняемый, внешний, внутренний).

Установление взаимодействий между выявленными элементами системы НВП, определение их функций и порядка прохождения информационных потоков между ними позволило разработать функциональную схему взаимосвязей структурных элементов системы НВП (см. рис. 1).

С целью формализации описания процессов разработки, испытаний, производства и сервисного обслуживания наукоемкой высокотехнологической продукции были исследованы существующие модели и методы количественного исследования производственных систем и выявлены классы моделей, отвечающие специфике системы НВП (см. рис.2).

В результате изучения области применения методов анализа производственных систем было установлено, что существующие методы не позволяют достаточно полно описать объект исследования (что не соответствует поставленным в работе задачам). Поэтому, с целью обеспечения полноты охвата характеристик системы НВП был сделан акцент на адаптацию и совместное использование балансовой модели, модели промышленной динамики и методов детерминированного факторного анализа.

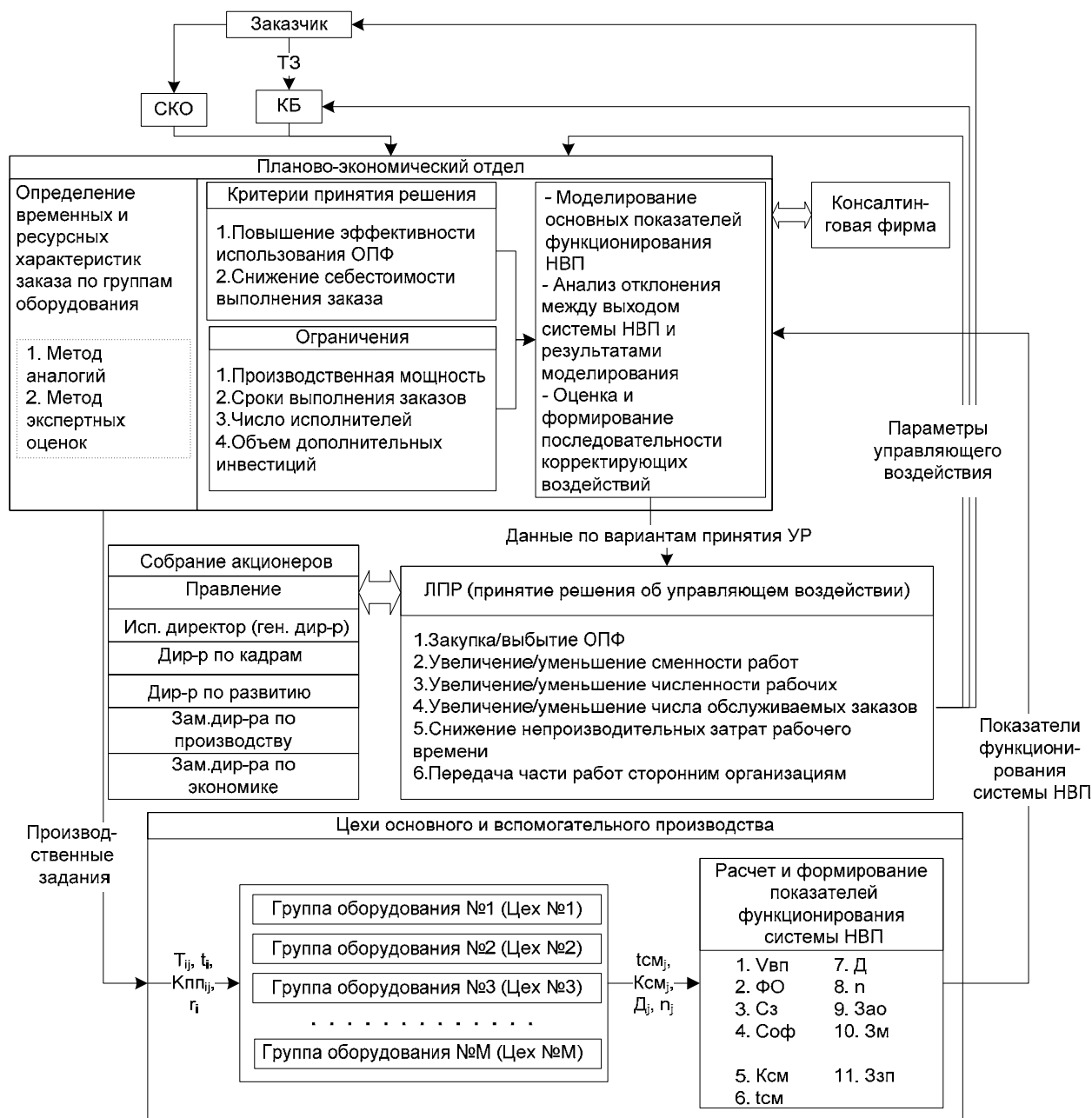


Рис. 1. Функциональная схема взаимосвязей структурных элементов системы НВП

Путем адаптации балансовой модели В.В. Леонтьева для наукоемкого высокотехнологического производства была получена Балансовая модель предприятия с  $n$  подразделениями,  $m$  участками, выполняющими  $k$  заказов (см. рис. 3).

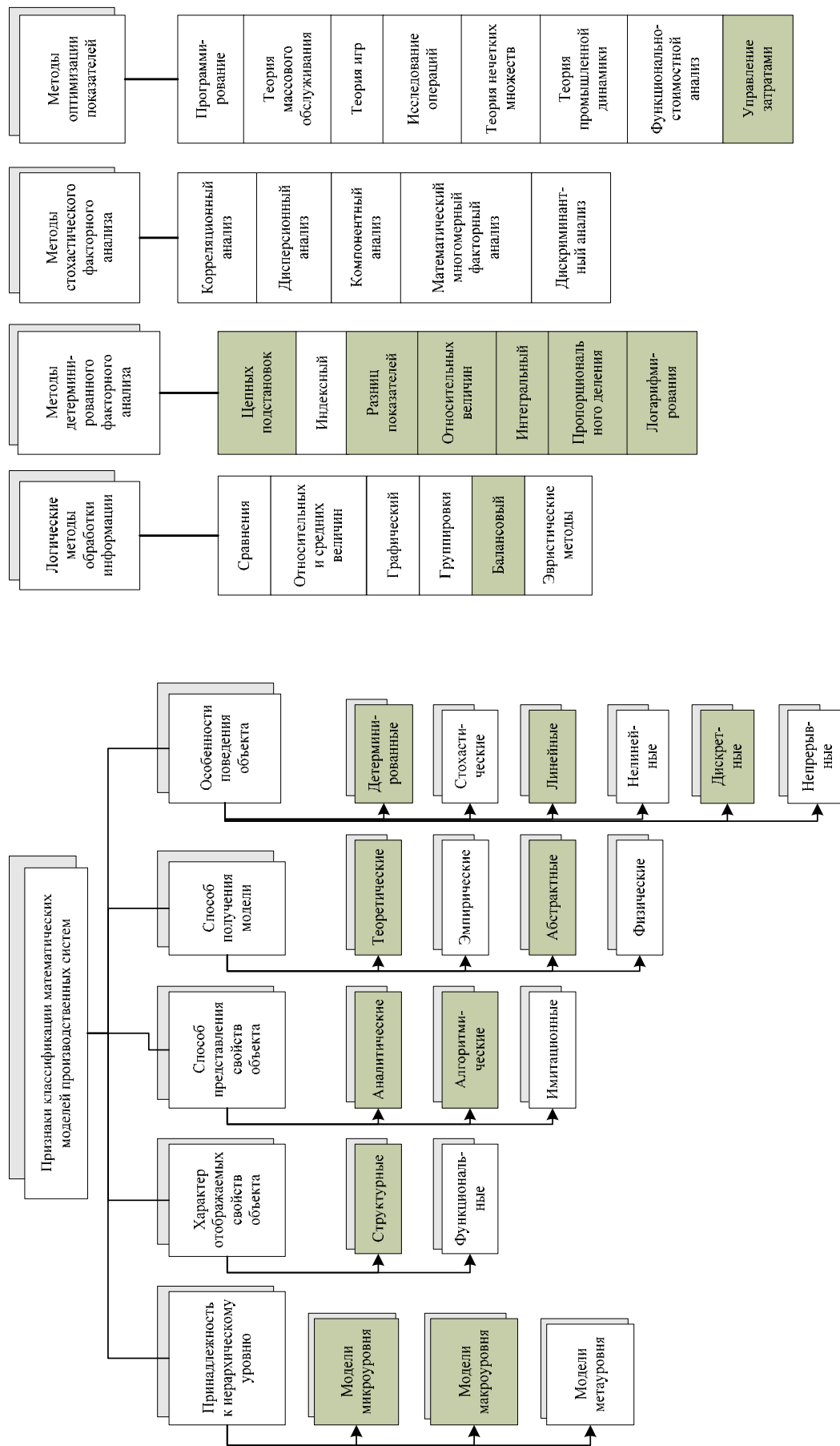


Рис. 2. Модели и методы количественного исследования производственных систем

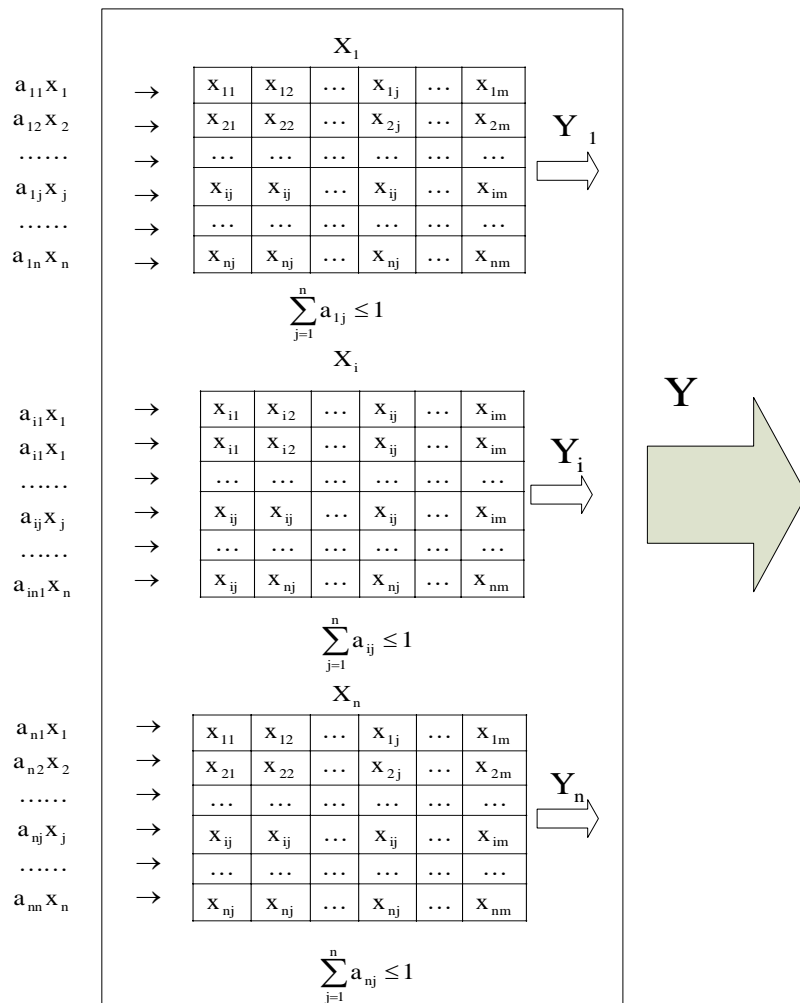


Рис. 3. Информационная модель наукоемкого высокотехнологического производства

Балансовая модель подразделения с  $m$  участками, выполняющими  $k$  заказов:  
 $X=BZ$ . (3)

$Z$  – выпуск продукции участками.

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_i \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}z_{11} + b_{12}z_{12} + \dots + b_{1m}z_{1m} \\ b_{21}z_{21} + b_{22}z_{22} + \dots + b_{2m}z_{2m} \\ \dots \\ b_{i1}z_{i1} + b_{i2}z_{i2} + \dots + b_{im}z_{im} \\ \dots \\ b_{n1}z_{n1} + b_{n2}z_{n2} + \dots + b_{nm}z_{nm} \end{pmatrix}$$

Для  $k$  заказов

$$X^* = \sum_{l=1}^k A_l X^* + Y^*, \quad Y^* = (E - \sum_{l=1}^k A_l) X^* = P^* X^*, \quad X^* = (E - \sum_{l=1}^k A_l)^{-1} Y^* = (P^*)^{-1} Y^*$$

$$a_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq 1. \quad (4)$$

По формуле Крамера для системы уравнений  $PX = Y$

$$X_1 = \frac{D_1}{D}; X_2 = \frac{D_2}{D}; \dots X_n = \frac{D_n}{D}. \quad (5)$$

$D_i$  – определитель, полученный из  $D$  заменой столбца, составленного из коэффициентов  $P_{kj}$  при неизвестном  $X_j$  столбцом составленным из  $Y_i$ :

$$D_1 = \begin{vmatrix} y_1 & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_n & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Представленные модели позволяют рассмотреть следующие постановки задач:

1. По известному  $X$  найти  $Y$ . Она решается после преобразования матриц из соотношения:  $Y = (E - A)X$ .

Входной информацией является вектор валовой продукции, выходной – потребление.

2. По заданному потреблению найти валовую продукцию:  $X = (E - A)^{-1}Y$

Здесь решается задача планирования выпуска продукции подразделений для желаемого потребления  $Y$ .

Особенности рассматриваемых балансовых моделей, которые необходимо учитывать при программной реализации вычислительных методов и выборе инструментальных средств:

- размерность матрицы,
- количество исследуемых переменных, представленных в аналитической форме,
- разреженность матрицы (процентное отношение нулевых элементов  $p_{ij}(k_1, k_2, \dots, k_m)$  к их общему числу);
- а также допускается, что отдельные элементы модели являются *полиномиальными* выражениями, зависящими от показателей ПХД системы НВП.

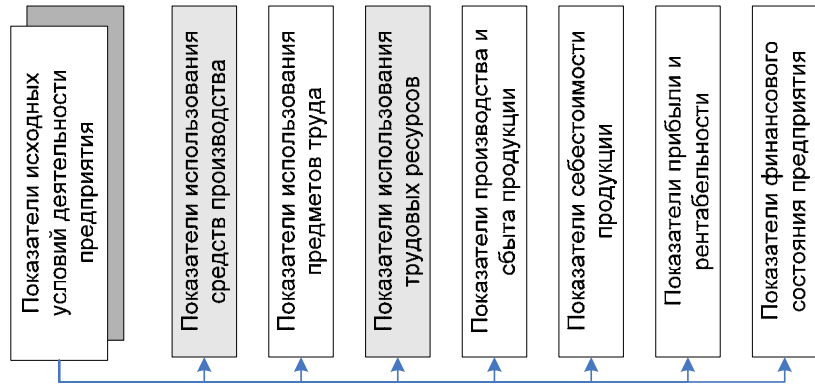
Ограничениями на параметры вычислительного процесса являются время обращения матрицы и точность при вычислениях.

Исследование системы показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия с учетом специфики НВП позволило выявить основные группы показателей, необходимые для решения поставленных задач снижения себестоимости продукции НВП за счет увеличения фондоотдачи уникального дорогостоящего оборудования (см. рис.4).

Следовательно, при разработке конкретной производственной программы надо учесть сроки и объемы поставок продукции на рынок (чем обычно занимается отдел маркетинга — план сбыта) и максимальную равномерную загрузку производственных мощностей (за это отвечает ПДО). Соответственно на основании производственной программы должны быть сформированы (или скорректированы) другие разделы комплексного плана предприятия.

Производственная программа содержит данные по производству и реализации продукции по объемным показателям (вал, товар, реализация),

Система показателей комплексного анализа  
производственно-хозяйственной  
деятельности предприятия



Структурно-логическая модель анализа  
фондорентабельности и фондоотдачи

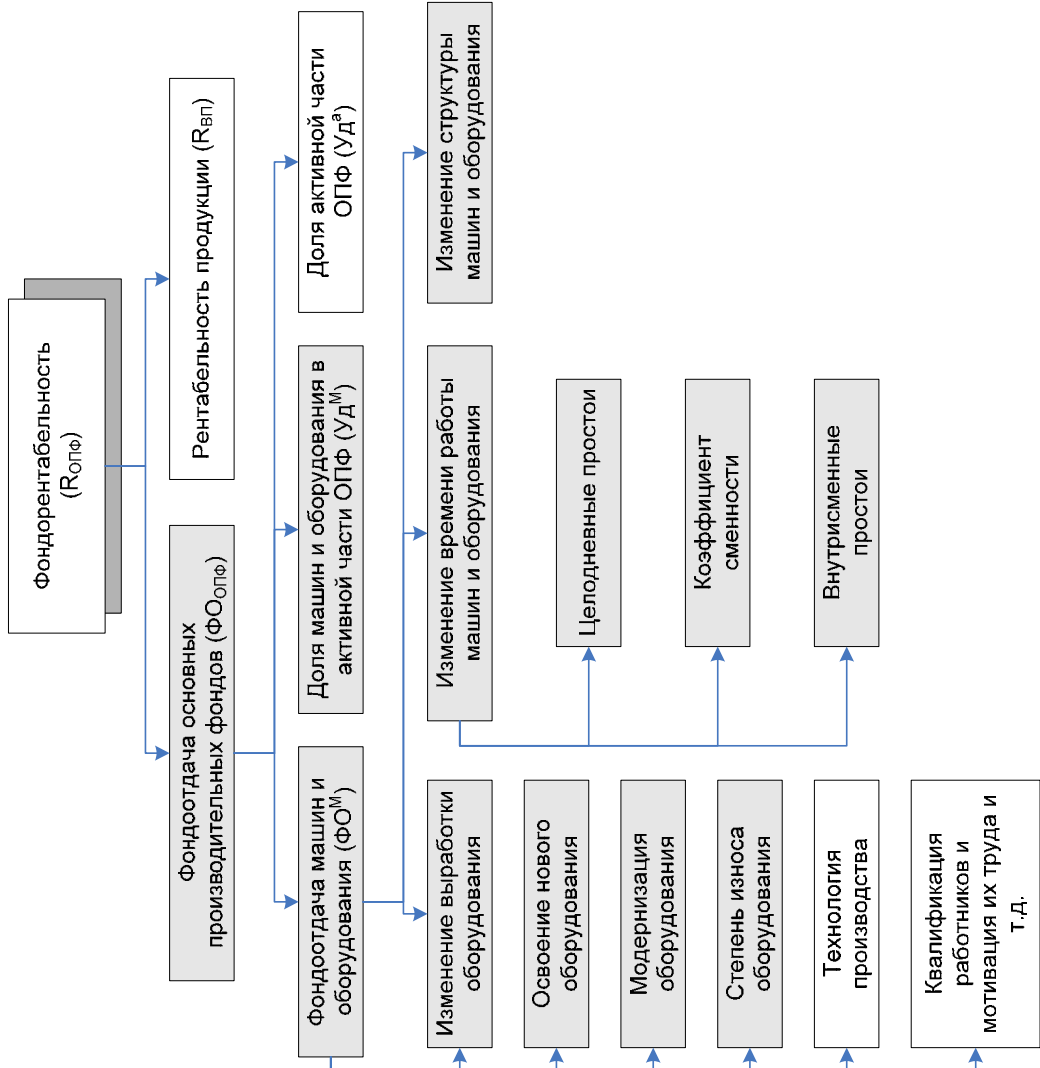


Рис. 4. Система показателей комплексного анализа

номенклатуре, ассортименту и качеству с разбивкой по календарным периодам, исходя из плана сбыта и является результатом согласования следующих целей фирмы:

- получение максимальной прибыли;
- учет реальных финансовых и иных ресурсных возможностей;
- возможно полное удовлетворение потребностей рынка сбыта;
- максимальное снижение производственных издержек, в т.ч. и максимально возможная загрузка оборудования.

Оптимизация плана заключается в согласовании противоречивых требований выполнения календарных сроков поставок по договорам с потребителем и снижения производственных издержек (в первую очередь, полной загрузки оборудования) с учетом изменяющихся ограничений по ресурсам.

С целью получения количественной оценки степени использования основных средств НВП был разработан метод преобразования первичной информации для количественной оценки степени использования основных фондов НВП, представляющий собой последовательность этапов.

1. Определение суммарного портфеля заказов:

$$\Pi_3 = \sum_{i=1}^n Z_i = \sum_{i=1}^k Z_i' + \sum_{i=1}^l Z_i'' + \sum_{i=1}^p Z_i''' , \quad k, l, p \geq 0, \quad k + l + p = n, \quad (7)$$

где  $Z_i'$  – заказы, находящиеся в производстве;  $Z_i''$  – заказы, поступившие от внешних заказчиков;  $Z_i'''$  – заказы внутренние.

2. Представление параметров заказа функционалом:

$$Z_i = F(T_{ij}, t_i, k_{mi}, r_i \dots), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (8)$$

при условии выполнения неравенства:

$$\sum_{j=1}^m t_{ij} \leq t_i \times k_{mi}, \quad (9)$$

3. Расчет соответствующих заказам суммарных трудоемкостей по группам оборудования:

$$T'(M_j) = \sum_{i=1}^k T_{ij}, \quad T''(M_j) = \sum_{i=1}^l T_{ij}, \quad T'''(M_j) = \sum_{i=1}^p T_{ij}. \quad (10)$$

4. Определение производственного потенциала оборудования:

$$T(M_j) = M_j \times t_{cmj} \times k_{cmj} \times D_{ед.об.j}, \quad (11)$$

5. Расчет длительности работы  $j$ -ой группой оборудования по  $i$ -му заказу:

$$t_{ij} = \frac{T_{ij}}{T(M_j)_{он}}, \quad (12)$$

где  $T(M_j)_{он} = M_j \times t_{cmj} \times k_{cmj}$ , – дневная мощность оборудования  $j$ -ой группы оборудования

6. Определение количества рабочих и рабочего времени, необходимого для выполнения определенного объема работ:



$$n_{paб} = \frac{T(M_j)}{t_{paбj}}, \quad t_{paбj} = t_{cmj} \times D_{ед.об.j}. \quad (13)$$

7. Расчет величины фонда амортизационных отчислений за исследуемый период времени:

$$\Phi_{ам.отч} = \sum_{j=1}^m C^{of}(M_j) \times r_{aj} = \sum_{j=1}^m \Phi_{ам.отч.j}, \quad (14)$$

где  $\Phi_{ам.отч.j} = C^{of}(M_j) \times r_{aj}$  – фонд амортизационных отчислений по  $j$ -ой группе.

8. Определение доли амортизационных отчислений, входящих в состав себестоимости выполнения заказа:

$$\Delta\Phi_{ам.отч.ij} = \Phi_{ам.отч.j} \times k_{t_{ij}}, \quad (15)$$

где  $k_{t_{ij}}$  – поправочный коэффициент:

$$k_{t_{ij}} = \frac{T_{ij}}{M_j \times t_{cmj} \times k_{cmj} \times t_{норм}}. \quad (16)$$

9. Формирование системы интегрированных показателей анализа производственно-хозяйственной деятельности предприятия:

$$X = F(V_{mn}, Z_{ao}, Z_{zn}, Z_m, C_{of}, D_p, t_{cm}, k_{cm}, n_p, D_{нев}, t_{непр}, \dots), \quad (17)$$

10. Формирование адаптированной балансовой модели функционирования НВП на основе разработанной системы интегрированных показателей анализа производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

11. Анализ производственного потенциала предприятия с целью определения возможности выполнения потенциального портфеля заказов (в соответствии с системой интегрированных показателей анализа производственно-хозяйственной деятельности предприятия).

12. Визуализация результатов анализа с помощью РМД с целью обеспечения наглядности и обоснованности в процессе принятия управленческих решений по формированию потенциального портфеля заказов наукоемкому высокотехнологичному производству.

В отличие от известных разработанный метод позволяет учитывать любую степень детализации выполнения производственной программы предприятия и осуществлять автоматизированное управление ею, используя наглядную визуализацию результатов с помощью радиально-метрических диаграмм. В основе метода лежит многоуровневая балансовая модель НВП, использующая систему показателей комплексного анализа производственно-хозяйственной деятельности.

Для наглядной визуализации анализа эффективности ОПФ НВП в целях обеспечения автоматизированного управления производственной программой был применен математический аппарат радиально-метрических диаграмм, который в процессе автоматизированного управления производственной программой позволит однозначно определить степень адекватности

существующих возможностей НВП требованиям, накладываемым потенциальным портфелем заказов (см. рис. 5).

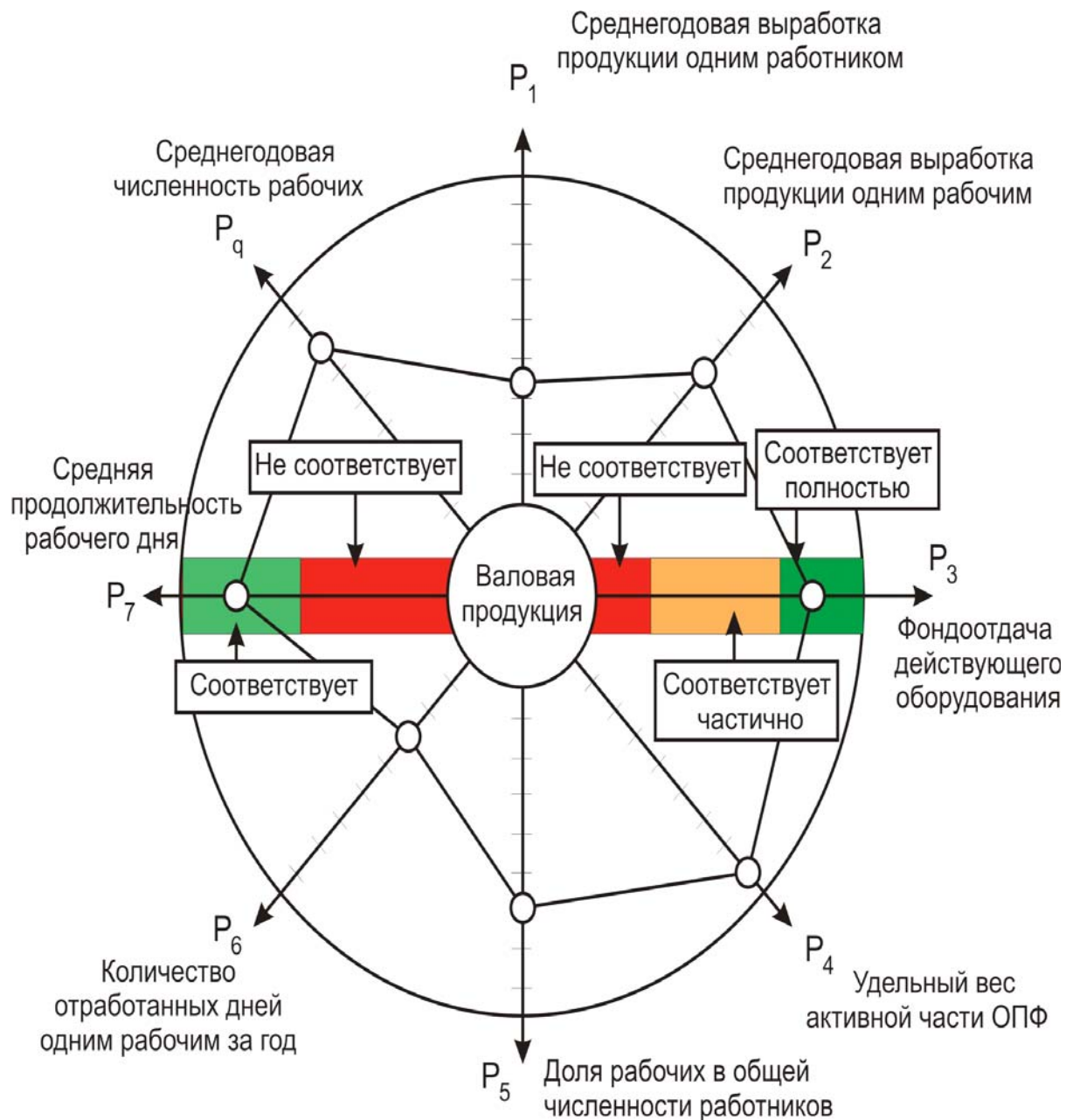


Рис. 5. Визуализация результатов анализа эффективности НВП

Интеграция разработанных моделей, метода и информационной технологии экономического мониторинга наукоемкого высокотехнологического производства в систему автоматизированного управления предприятием представлена на схеме экономического мониторинга НВП в АСУП (см. рис. 6).

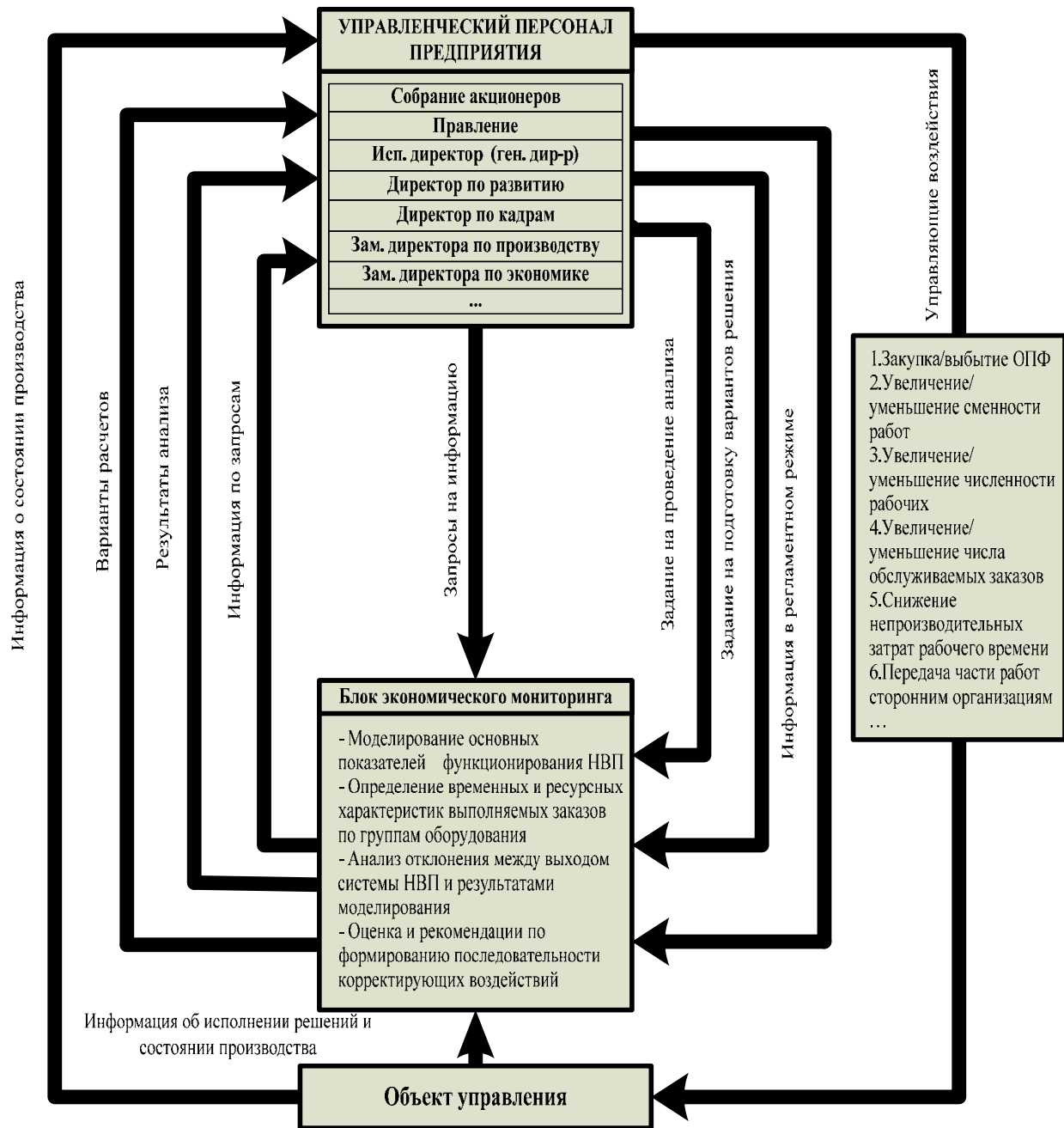


Рис. 6. Схема экономического мониторинга НП в АСУП

На основании чего, с учетом ранее разработанной функциональной схемы взаимосвязей структурных элементов системы НП была предложена процедура автоматизированного управления производственной программой НП (см. рис. 7).

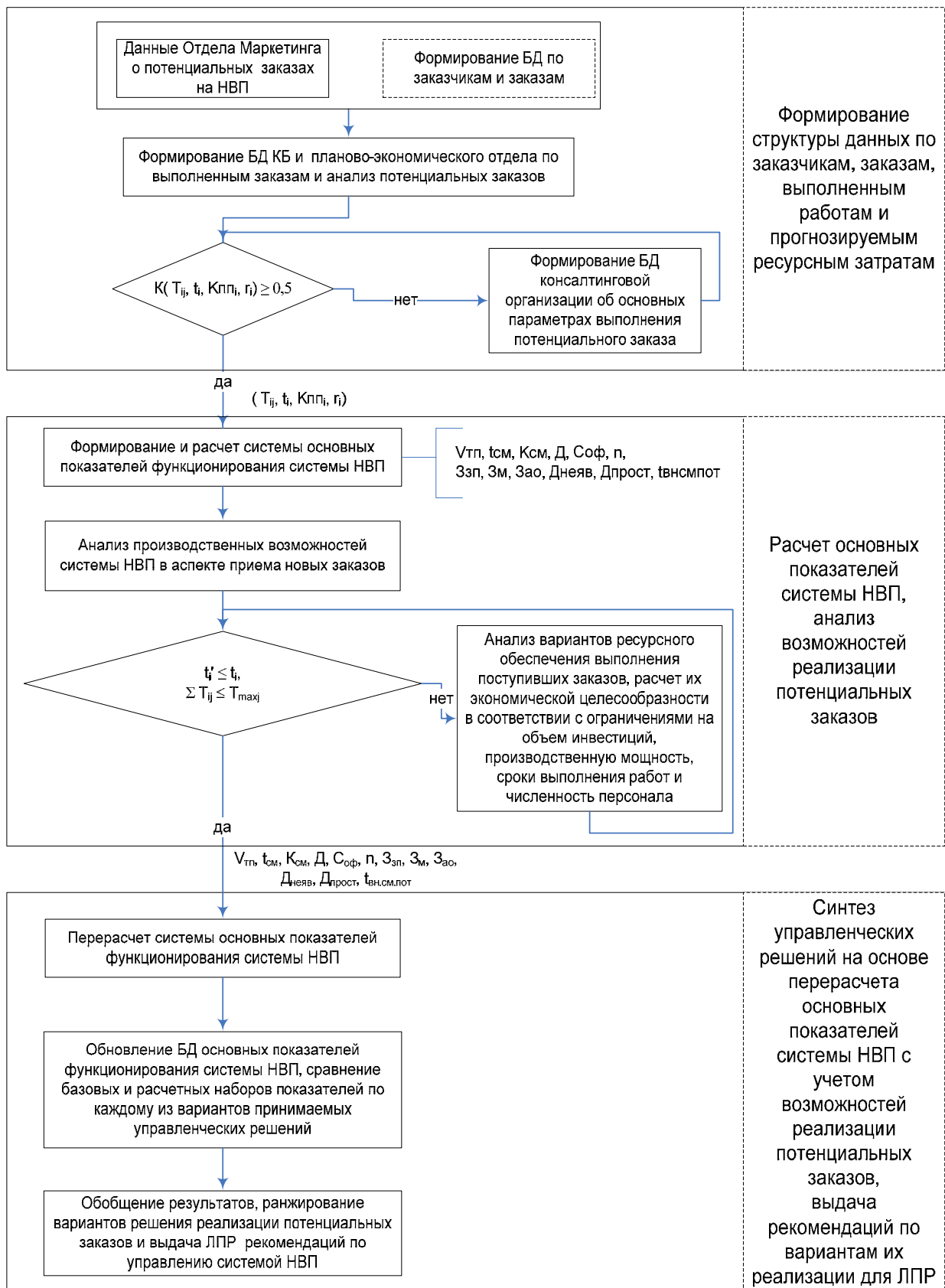


Рис. 7. Процедура оценки эффективности в сфере автоматизированного управления производственной программой НВП

На базе интегрированной системы показателей с помощью применения адаптированной балансовой модели, аппарата РМД и реализованной на их основе информационной технологии экономического мониторинга на одном из харьковских предприятий были проведены:

- анализ эффективности использования ОПФ НВП;
- анализ ХД НВП на основе интегрированной системы показателей использования трудовых ресурсов.

На основании проведенного анализа предложены пути повышения эффективности использования ОПФ НВП.

### **Выводы**

Получила дальнейшее развитие информационная модель описания производственных систем за счет адаптации ее к задачам экономического мониторинга наукоемкого высокотехнологичного производства с учетом его специфических особенностей, путем включения в нее системы показателей использования средств производства и трудовых ресурсов, что позволяет осуществлять мониторинг производственной деятельности с заданной степенью детализации и на ее основе разработан метод преобразования первичной информации для количественной оценки степени использования основных фондов НВП по системе показателей комплексного анализа производственно-хозяйственной деятельности, основанный на многоуровневой балансовой модели, позволяющей в отличие от известных, учитывать любую степень детализации выполнения производственной программы предприятия и осуществлять автоматизированное управление ею, используя наглядную визуализацию результатов с помощью радиально-метрических диаграмм.

### **Список литературы**

1. Вартанян В.М., Узун Д.Д. Особенности структуры организации производства наукоемкой высокотехнологичной продукции в задачах формирования управленческих решений // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 26. – С. 117-122.

2. Узун Д.Д. Модели и методы анализа состояния наукоемкого высокотехнологического производства в целях поддержки принятия управленческих решений // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», – 2005. - Вып. 27. – С. 215-218