

УДК 004.942

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Балашова Марина Владимировна<sup>1</sup>, Добрынин Владимир Николаевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ассистент;

ГБОУ ВПО Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,

Институт системного анализа и управления;

141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: MarinaLobacheva@yandex.ru.

<sup>2</sup>Кандидат технических наук, профессор Института системного анализа и управления;

ГБОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,

Институт системного анализа и управления;

141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: arbatsolo@yandex.ru.

*В статье проводится анализ моделей коллективной деятельности организации (предприятия), выводятся основные показатели коллективной деятельности. Предложена подробная математическая модель коллективной деятельности, основанная на понятии технологической карты. Исследуются особенности событийной модели коллективной деятельности, а также приводятся показатели эффективности коллективной деятельности, вычисляемые на базе построенных моделей.*

**Ключевые слова:** коллективная деятельность, модель коллективной деятельности, технологическая карта, событийная модель коллективной деятельности, математическая модель коллективной деятельности, имитационная модель коллективной деятельности, показатели эффективности.

## MATHEMATICAL AND SIMULATION MODELING OF COLLECTIVE ACTIVITY EFFECTIVENESS INDICATORS

Balashova Marina<sup>1</sup>, Dobrynin Vladimir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant;

Dubna International University of Nature, Society and Man,

Institute of system analysis and management;

141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;

e-mail: MarinaLobacheva@yandex.ru.

<sup>2</sup> Candidate of Science in Engineering, professor of Institute of system analysis and management;

Dubna International University of Nature, Society, and Man,

Institute of system analysis and management;

141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;

e-mail: arbatsolo@yandex.ru.

*The article contains the analysis of organization collective activity model, key indicators of collective activity are deduced. Explicit mathematical model of collective activity based on process flow diagram concept is proposed. Features of collective activity event model are explored, and collective activity effectiveness indicators based on the created models are also given.*

**Keywords:** collective activity, collective activity model, process flow diagram, collective activity event model, collective activity mathematical model, collective activity simulation model, effectiveness indicators.

Несмотря на широкий спектр комплексных технологий поддержки принятия управленческих решений (IBM, ORACLE, MICROSOFT PROJECT SERVER, SAP, ГАЛАКТИКА, 1С, ПАРУС и т.д.), а также методов решения многокритериальных задач управления и возможностей их комплексирования и использования, возникает потребность в комплексной технологии поддержки принятия управленческих решений на основе результатов решения таких задач как: предварительной оценки возможностей коллектива (время, ресурсы, качество) реализации нового проекта; анализа коллективной деятельности; анализа состояния коллективной деятельности в некоторый момент времени; анализа достигнутого уровня интеллектуального коллективного потенциала; анализа использования ресурсов (в том числе и технологических); выявление резервов и динамического перераспределения деятельности в коллективе; прогнозирование возможностей коллективной деятельности в новых научно-практических сферах; динамической коррекции планов и т.д. Весь этот комплекс задач и их решения являются основой для принятия управленческого решения.

Отдельно стоит отметить, что для коллективов, деятельность которых лежит в инновационной сфере (например НТП) и, характеризующихся краткосрочными проектами высокой интеллектуальной сложности и высокими рисками, динамичностью смены проектов, взаимозаменяемостью специалистов, непрерывным повышением профессионализма и компетентности (требующие вложения в обучение персонала), использованием методологии шаблонного проектирования - всё это создаёт особые условия управление коллективной деятельностью.

Методологической целостностью методического и программно-технологического обеспечения может служить согласованная система показателей эффективности коллективной деятельности (КД), а основным инструментом – моделирование показателей эффективности. Пространство состояний (выходы) модели должно быть такими, чтобы обеспечивалась возможность определения показателей качества коллективной деятельности (т.е. показатели качества являлись функционалами от состояния КД). Так как любая модель является параметрической, то все показатели эффективности являются зависимыми от комплекса параметров модели. И на основе такой зависимости возникает возможность решения задач (в пространстве параметрических показателей) результаты которых могут служить основой для поддержки принятия управленческих решений.

Таким образом, разработка технологии поддержки управленческих решений на основе моделирования согласованных показателей эффективности коллективной деятельности является актуальной задачей, а её реализация может служить основой для разработки программно-технологического обеспечения.

## ***Коллективная деятельность и ее основные функции***

Исходной позицией описания моделей является понятие технологические карты коллективной деятельности.

Сегодня поддержка принятия управленческих решений напрямую не связывает технологию выполнения работ с показателями качества коллективной деятельности.

Построение параметрической модели по технологической карте каждого работника и вычисление на ее основе системы интегральных показателей (экономических, интеллектуальных и т.д.) дает возможность оценивать эффективность коллективной деятельности на заданной области допустимых значений данных показателей (рис. 1).

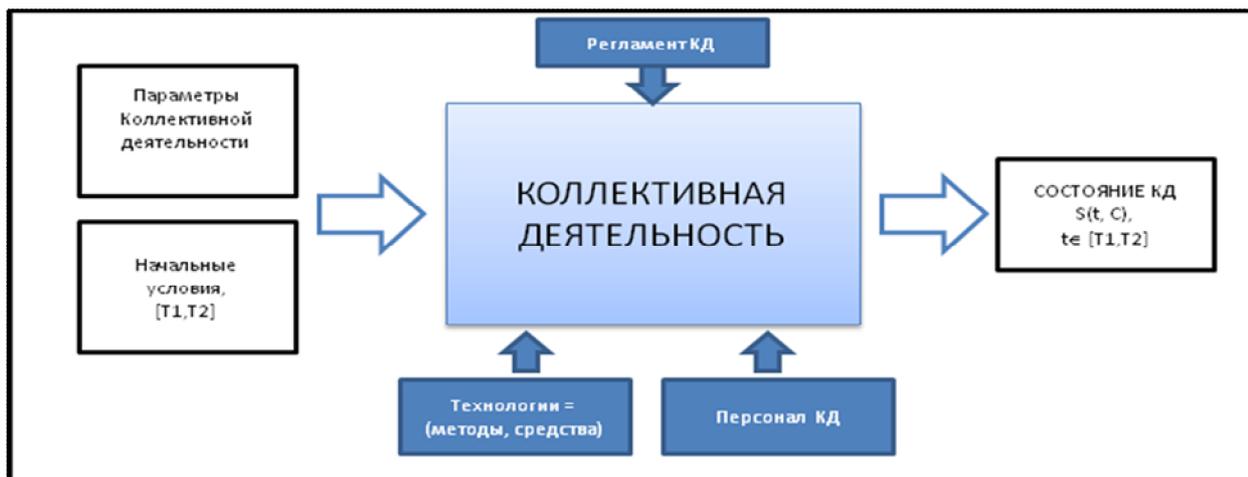


Рис. 1. Модель коллективной деятельности

Технологическая карта – технологическая документация в виде карты, листка, содержащего описание процесса изготовления, обработки, производства определенного вида продукции, производственных операций, применяемого оборудования, временного режима осуществления операций.

С технологической точки зрения коллективную деятельность (КД) можно рассматривать как иерархически упорядоченную совокупность работ во времени. Всё множество работ распределено между сотрудниками и определены условия выполнения работ, к которым следует отнести:

правила выполнения работ,

ограничение на длительности выполнения работ,

правила использования общих и индивидуальных ресурсов (к ним можно отнести единицы оборудования, знания, деньги и т.д.),

правила распределения ресурсов между сотрудниками и выполняемыми ими работами.

Таким образом, определяется пространство состояний КД, включающее:

вектор состояния работников  $R(t)$ ,

вектор состояния общих ресурсов  $P(t)$ ,

вектор состояния очередей на общие ресурсы  $L(t)$ .

Выбранное пространство состояний КД позволяет определить те задачи, решение которых может быть реализовано на основе компьютерного моделирования [1].

Одним из главных факторов, влияющим на эффективность КД в целом, является распределение во времени общих ресурсов между участниками. Выявление условий, обеспечивающих самоорганизацию коллектива сотрудников в распределении общих ресурсов в условиях неопределённости, одна из задач, которая может быть решена на основе моделирования. Эти условия представляют собой управляющие воздействия на КД. Причём, если эти условия неизменны на некотором интервале времени и обеспечивают должную самоорганизацию коллектива по распределению общих ресурсов в условиях неопределённости, тогда можно говорить об эффективности «управления». В случае, когда эти условия не обеспечивают соответствующего уровня самоорганизации, будем говорить о неуправляемости и неустойчивости КД. В этом случае осуществляется поиск других новых качественных условий и структурно-функциональных изменений КД, при которых обеспечивается необходимый уровень самоорганизации коллектива на определённом интервале времени. Для поиска новых условий осуществляется качественный анализ на основе системных методов с выдвижением гипотез о возможном развитии производства и их проверки на основе моделирования.

Модель коллективной деятельности включает три слоя:

операционный,

деятельностный,

экономический.

На операционном уровне работники выполняют по определённым правилам последовательности операций с использованием индивидуальных или общих ресурсов.

На деятельностном уровне работники выполняют работы (работа – это совокупность определённой последовательности операций), результатом которых является продукция определённого качества. На этом уровне работники связаны между собой результатами своей деятельности.

На экономическом уровне рассматривается технологическое-экономическое состояние производства. На основе предложенной модели можно решать разнообразные задачи анализа, синтеза и оценки функционирования производства. В работе представлена общая архитектура информационно-аналитической модели.

## Обобщенная модель коллективной деятельности

Данная модель отражает деятельность участников КД (работников) и связи между ними на счёт использования общих технологических ресурсов. Пространством состояния модели являются переменные:

вектор состояния работников  $R(t)$ ,

вектор состояния общих ресурсов  $P(t)$ ,

вектор состояния очередей на общие ресурсы  $L(t)$ .

Входами в модель могут быть различные переменные, которые определяются в зависимости от задачи анализа или синтеза. Таким образом, всё пространство входных переменных делится на две части: входные переменные и параметры модели [3].

Введём следующие обозначения и функции, являющиеся основой математической модели КД.

Пусть  $A$  – множество работников,  $a_i \in A, i = 1, 2, \dots, n$ .  $X$  – множество операций,  $x_{ij}$  –  $j$ -ая операция, выполняемая  $i$ -ым работником,  $x_{ij} \in X, j = 1, 2, \dots, m$ .  $\Lambda$  – множество длительностей выполнения операций,  $\Delta_j(p)$  – длительность выполнения  $j$ -ой операции  $\Delta_j(p) \in \Lambda$ .  $X\Lambda$  – матрица «Операция-длительность»,  $X\Lambda(i, j) = \Delta_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n$ .

Можно выделить следующие основные варианты задания длительностей:

1.  $\Delta_j = const$ ;

2.  $\Delta_j = a \pm \lambda$ ;

3.  $\Delta_j = a \pm \omega(p)$ ;

4.  $\Delta_j = \delta(p)$ .

$R$  – множество общих ресурсов,  $r_k$  – ресурс, необходимый для выполнения  $k$ -ой работы,  $k = 1, 2, \dots, l$ ,  $U$  – множество очередей,  $u_j$  – очередь на  $j$ -ый ресурс.

$MAX(n, m)$  – матрица «Работник-операция»;

$$MAX(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый работник выполняет } j\text{-ую операцию;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$MXR(i, j)$  – матрица «Операция-ресурс».

$$MXR(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если для } i\text{-ой операции необходим } j\text{-ый ресурс;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$Q_k(i, j)$  – матрица правила выполнения операций  $k$  – ым работником,  $i = 1, 2, \dots, n_k, j = 1, 2, \dots, m_k$ .

$$Q_k(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если по завершению } i\text{-ой операции } k\text{-ый работник переходит} \\ & \text{к выполнению } j\text{-ой операции;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$Q_k(i, j) = \begin{cases} p_{ij}, & \text{если по завершению } i\text{-ой операции } k\text{-ый работник с вероятностью } p_{ij}; \\ & \text{переходит к выполнению } j\text{-ой операции.} \end{cases}$$

$T_i$  – тип  $i$  – го ресурса.

$$T_i = \begin{cases} 1, & \text{если ресурс общий для некоторой группы операций;} \\ 0, & \text{если ресурс индивидуальный.} \end{cases}$$

$MXT$  – матрица "Операция – тип ресурса".

$$MXT(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если для } i\text{-ой операции необходим } j\text{-ый общий ресурс;} \\ 0, & \text{если для } i\text{-ой операции необходим } j\text{-ый индивидуальный ресурс.} \end{cases}$$

$\bar{A}(t) = (a_1(t), a_2(t), \dots, a_i(t), \dots, a_n(t))$  – вектор состояния работников на момент  $t$ ;

$\bar{R}(t) = (r_1(t), r_2(t), \dots, r_i(t), \dots, r_l(t))$  – вектор состояния ресурсов на момент  $t$ ;

$\bar{U}(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_i(t), \dots, u_l(t))$  – вектор состояния очередей на момент  $t$ .

$$a_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{если работник завершил операцию и переходит к следующей;} \\ 1, & \text{если работник выполняет операцию;} \\ 2, & \text{если работник ожидает общего ресурса.} \end{cases}$$

Состояние работника  $a_i(t)$  :

продолжает выполнять операцию «с» начатую в момент  $\tau_i$ ;

переходит к выполнению операции «b» по правилу  $\Psi(c) = b$ , если не требуется общего ресурса или общий ресурс свободен;

ожидает общего ресурса для выполнения операции «b»:

$$a_i(t) = \begin{cases} c \in X_i \subset X, \Delta_c - (t - \tau_i) \geq 0, \text{ работник продолжает выполнять операцию "c", к которой} \\ \text{приступил в момент } \tau_i; \\ \Psi(c) = b \in X_i \subset X, \Delta_c - (t - \tau_i) = 0 \wedge \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i) = 0, \\ \text{работник переходит к выполнению операции "b", если он завершил операцию "c"} \\ \text{и при этом ему не требуется общий ресурс или ресурс свободен;} \\ "*" , \Delta_c - (t - \tau_i) = 0 \wedge \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i) > 0, \text{ работник завершил операцию "c"} \\ \text{и для выполнения операции } b = \Psi(c) \text{ ожидает общего ресурса необходимого} \\ \text{для выполнения операции "b".} \end{cases}$$

Длительность  $\Delta a_i(t)$  выполнения операции  $i$ -ым работником в момент  $t$ :

$$\Delta a_i(t) = \begin{cases} \Delta_c - (t - \tau_i), \Delta_c - (t - \tau_i) > 0, \text{ работник продолжает выполнять операцию "с", к которой} \\ \text{приступил в момент } \tau_i; \\ \phi(b) = \Delta_b, \Delta_c - (t - \tau_i) = 0 \wedge \Omega = \sum_1^m \alpha_l - m(t - \tau_i) = 0, \text{ работник переходит к выполнению} \\ \text{операции "b", если он завершил операцию "с" и при этом ему не требуется} \\ \text{общий ресурс или ресурс свободен;} \\ \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i), \Delta_c - (t - \tau_i) = 0 \wedge \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i) > 0, \text{ работник} \\ \text{завершил операцию "с" и для выполнения операции } b = \Psi(c) \text{ ожидает общего} \\ \text{ресурса, необходимого для выполнения операции "b"}. \end{cases}$$

Таким образом, состояние работника  $a_i(t)$  характеризуется двумя атрибутами: состоянием деятельности; длительностью деятельности. Формально уровень профессионализма работника характеризуется функциями:  $\Psi(x)$ ,  $\varphi(x)$ .

$$\sigma_{ij}(t) = \begin{cases} \Delta_{ij} - (t - \tau_j) \\ 0, \text{ если } t - \tau_j = \Delta_{ij} \end{cases},$$

где  $\sigma_{ij}(t)$  – оставшаяся длительность выполнения  $i$ -ой операции  $j$ -ым работником в момент  $t$ ;

$\tau_j$  – момент времени, когда  $i$ -ый работник приступил  $j$ -ой операции.

$$\beta_{ij}^k(t) = \begin{cases} \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i) > 0; \\ 0, \Omega = \sum_1^{m+1} \alpha_l - \sum_1^{m+1} (t - \tau_i) = 0; \end{cases}$$

$\beta_{ij}^k(t)$  – оставшаяся длительность ожидания в очереди  $j$  – ым работником на  $k$  – ый ресурс для выполнения  $i$  – ой операции.

Формулы для ожидания в очереди верны для дисциплины обслуживания «первым пришёл – первым обслужился».

Если очередь с приоритетами, тогда формулы другие. Сначала очередь упорядочивается согласно правилу приоритета, а затем применяется вышеприведённая формула.

$\xi_{ij}^k(t) = \sigma_{ij}(t) + \beta_{ij}^k(t)$  – оставшееся время выполнения  $j$  – ой операции  $i$  – ым работником с использованием  $k$  – го общего ресурса.

Общий ресурс – это ресурс, который используется группой сотрудников для выполнения операций. Таким образом, для определённой группы сотрудников выделяется ресурс, определяемый матрицей МХТ. Использование ресурса работником определяется следующим правилом. Если для выполнения некоторой операции работнику необходим ресурс, он может им воспользоваться в том случае, если ресурс свободен. Если ресурс занят, тогда работник становится в очередь на ожидание, когда ресурс станет свободным и доступным. Ресурс может быть недоступным по разным причинам. Тогда работник ожидает до тех пор, пока ресурс станет доступным в случае, когда работник первый на доступ к ресурсу. Для любого момента времени ресурс может находиться только в одном из состояний: «свобо-

ден-доступен», «свободен-недоступен», «занят под некоторую операцию». Формула (1) позволяет определить состояние  $r_i$ -го ресурса. Пусть  $G_i$  –  $i$ -ая группа сотрудников, использующая  $r_i$  общий ресурс:

$$r_i(t) = \begin{cases} 1, \text{"свободен – доступен", если ни один из работников из } G_i \text{ не использует} \\ r_i \text{ ресурс и при этом ресурс свободен (это условие определяется процедурой – } \vartheta(G_i)); \\ 2, \text{"свободен – недоступен", если ни один из работников из } G_i \text{ не использует} \\ r_i \text{ ресурс и при этом ресурс не свободен (это условие определяется процедурой – } \theta(G_i)); \\ 3, \text{"занят под некоторую операцию", если один из работников } G_i \text{ использует ресурс } r_i \\ \text{(это условие определяется процедурой – } \nu(G_i)). \end{cases} \quad (1)$$

Если в момент  $t$  ресурс  $r_i$  – занят, тогда длительность занятости ресурса определяется по формуле (2):

$$\Delta r_i(t) = \Delta_c - \sum_1^k (t - \tau_i) \geq 0, \quad (2)$$

где  $\Delta_c$  – длительность выполнения операции "с",  $\tau_1$  – момент времени, когда работник приступил к выполнению операции "с" ( $t = \tau_k$ ).

Таким образом, состояние общего ресурса характеризуется двумя атрибутами: готовностью («свободен-доступен», «свободен-недоступен», «занят»); длительностью занятости (2); длительностью недоступности (3).

Процедура  $\omega(t, G_i)$ (3) определяет длительность недоступности  $r_i$ -го ресурса на момент  $t$ .

Очереди на ресурсы характеризуются следующими атрибутами:

дисциплина обслуживания,

однородностью (очереди без приоритетов, очереди с приоритетами),

ограничениями (очереди с максимальной длиной, очереди с ограничением по времени).

Параметром очереди является длина очереди на момент времени  $t$ .

Характеристиками очереди являются:

список операций, которым необходим общий ресурс,

список моментов поступления операций в очередь.

Очередь может находиться только в одном из состояний: «пустая», «не пустая».

Обслуживание очереди задаётся следующим правилом (например, для дисциплины обслуживания «первым пришёл-первым обслужился»). Если в момент  $t$  поступает заявка на использование ресурса и при этом ресурс занят (или недоступен) тогда заявка поступает в очередь последней в случае, когда очередь не пустая, либо первой – когда очередь пустая. Заявка будет удовлетворена, когда все предыдущие заявки обслужатся ресурсом. Таким образом, процедуры (4) полностью определяют состояние и правило обслуживания очереди в момент  $t$ .

$$\begin{aligned} \Theta(t, r_i, G_i S(t), \Delta(t)) & \text{ – определение состояния очереди на } r_i \text{ –ый ресурс,} \\ E(x, D) & \text{ – обслуживание заявки согласно правилу } D. \end{aligned} \quad (4)$$

Для  $t = \tau_0$  определены начальные состояния работников:  $a_i(\tau_0) = a_{i0} \in X_i \subset X$  ( $A_0 = \{a_{i0}\}$ ), где  $X_i$  – подмножество операций, предписанных  $i$ -му работнику технологической картой.

## Имитационная модель коллективной деятельности

Исходной позицией описания моделей является понятие технологические карты коллективной деятельности (KD) (рис. 2). Итак, коллективная деятельность характеризуется [2]:

Множеством технологических карт членов (сотрудников) –  $M(Tk)$ ;

Технологической картой совместной деятельности коллектива –  $TKL$ :

$KD=(M(Tk), TKL)$ .

Технологическая карта сотрудника содержит:

перечень работ (операций), выполняемых сотрудником  $X$ ;

длительности выполнения работ;

правила выполнения работ (порядок выполнения) ;

перечень ресурсов, необходимы[ для выполнения работ (общие, индивидуальные)  $R$ ;

правила распределения ресурсов по работам;

правила использования ресурсов (если ресурс свободен и он необходим – ресурс используется иначе ожидание ресурса);

правила результата работы (если выполнена нужная последовательность работ и выполнены условия длительностей тогда работа качественная иначе брак (исправимый, неисправимый)  $C$ ;

правила стоимости выполненной работы  $S(C)$ .



Рис. 2. Схема коллективной деятельности

### Правила функционирования

Основным принципом формирования ИМ является принцип событийности. Суть принципа событийности состоит в формировании общей шкалы времени для всех процессов КД (в каждый момент времени определены: состояния членов коллектива, состояния ресурсов, состояния очередей, состояния результатов работ, состояния стоимостей работ, экологического состояния результатов деятельности (брак, отходы). Моментом события в текущий момент времени является наименьшая длительность времени выполнения работы какими-то членами коллектива. Согласно этому принципу имитационный процесс КД может быть описан следующим образом (рис. 3 и рис. 4).

В начальный момент  $\tau_0 = 0$  множество работников и множество общих ресурсов образуют следующие подмножества:

$W_{10}$  – множество работников, которые могут приступить к выполнению начальных операций без использования общих ресурсов;

$W_{20}$  – множество работников, которые могут приступить к выполнению начальных операций с использованием общих ресурсов;

$W_{30}$  – множество работников, которые не могут приступить к выполнению начальных операций, потому что общие ресурсы заняты. Поэтому работники становятся в очереди на ожидание освобождения ресурса;

$W_{40}$  – множество свободных ресурсов;

$W_{50}$  – множество очередей на занятые ресурсы.

В момент  $t = \tau_0$ , формируется подмножество ( $Q_0$ ) всех работников из  $W_{10} \cup W_{20}$ , которые завершают операции за время равно  $\lambda_0 = \min_{ij \in W_{10} \cup W_{20}} \Delta_{ij}$ .

Определяется следующий момент времени  $\tau_1 = \tau_0 + \lambda_0$ .

Для момента времени  $\tau_1$  все работники из множества  $Q_0$  распределяются по подмножествам  $W_{10}, W_{20}, W_{30}$  следующим образом. Согласно правилам выполнения работ, те работники которые могут выполнять операции без общего ресурса (подмножество  $Q_{01}$ ) добавляются к множеству  $W_{10}$ , т.е.  $W_{11} = W_{10} \cup Q_{01}$ . Те работники  $a_i$ , которые должны выполнять очередные операции с использованием общего ресурса и ресурсы свободны (т.е. ресурсы из подмножества  $W_{40}$  и работники из подмножества  $Q_{02}$ ) добавляются к множеству  $W_{20}$  и тем самым формируется множество  $W_{21} = W_{20} + Q_{02}$ . Те работники  $a_i$ , которые должны выполнять очередные операции с использованием общего ресурса и ресурсы заняты (т.е. работники из подмножества  $Q_{03}$ ) добавляются к множеству  $W_{30}$  и тем самым формируется множество  $W_{31} = W_{30} + Q_{03}$ . В итоге формируются подмножества  $W_{11}, W_{21}, W_{31}$ .

Для всех работников (не завершившие операцию к моменту  $\tau_1$ ) из подмножеств  $W_{10}, W_{20}, W_{30}$  определяется на момент  $\tau_1$  оставшееся время, либо выполнения текущей операции, либо ожидания в очереди. Эти времена определяются следующим образом. Если работник  $a_i$  из  $W_{10}$  или  $W_{20}$  выполняет операцию «с» длительностью  $\Delta_i$ , тогда на момент  $\tau_1$  работнику останется выполнять операции в течение  $\Delta_{i1} = \Delta_i - \lambda_0$ . Если  $a_i$  работник ожидает в очереди ( $a_i \in W_{30}$ ), тогда время ожидания  $\omega_i$  на момент  $\tau_1$  будет равно:

$$\omega_i = \sum_{k=1}^p \Delta_{k0} - p\lambda_0.$$

Таким образом, на момент  $\tau_1$  определяются множества  $W_{11}, W_{21}, W_{31}, W_{41}, W_{51}$ .

Пусть для момента  $\tau_i$  определены множества  $W_{1i}, W_{2i}, W_{3i}, W_{4i}, W_{5i}$ . Тогда для момента  $\tau_{i+1}$  согласно предыдущим рассуждениям определяются множества  $W_{1i+1}, W_{2i+1}, W_{3i+1}, W_{4i+1}, W_{5i+1}$  состояний работников, длительностей выполнения операций, состояний общих ресурсов, длительностей занятости общих ресурсов, состояния очередей и характеристик очередей. Соотношения отражают рекуррентность определения состояний работников, оборудования и очередей:

$$\bar{A}(\tau_{i+1}) = \Xi \bar{A}(\tau_i);$$

$$\bar{R}(\tau_{i+1}) = \Psi \bar{R}(\tau_i);$$

$$\bar{L}(\tau_{i+1}) = \theta \bar{L}(\tau_{i+1}), \text{ где функции } \Xi, \Psi, \theta \text{ определяют переход;}$$

производства из  $\tau_i$  состояния в  $\tau_{i+1}$  состояние.

*Задачи анализа на основе моделирования* (используется модель «Технология КД»):

1. Определение производственного цикла.
2. Определение общего простоя работников (производительности работников).
3. Определение (по операционное) производительности работников).
4. Определение простоев ресурсов.
5. Определение загрузки ресурсов.
6. Определение среднего времени ожидания в очереди.
7. Определение (по операционное) среднего ожидания в очереди.

*Задачи синтеза на основе моделирования*

1. Определение условий в области параметров, при которых будет минимальный производственный цикл.
2. Определение условий в области параметров, при которых будем максимальная производительность работников в целом (по операционное).
3. Определение условий, при которых будет минимальное среднее время ожидания в очереди (по операционное) и т.д.

Данная модель позволяет оценить полноту и корректность конкретной модели производства, определить относительно фиксированной проблемы - какая должна быть конкретная модель производства, позволяет оценить весь комплекс условий, при которых корректна конкретная модель.

Приведем пример. Пусть некоторое производство определено следующим образом:

численностью работников;

перечнем операций (работ), выполняемых работниками;

правилами выполнения операций работниками;

правилами длительностей выполнения работниками операций;

ресурсами, распределенными между операциями;

очередями на ресурсы, правила обслуживания и свойства очередей;

проблема: Как определить показатели функционирования производства на заданном интервале времени на основе моделирования?

К показателям следует отнести: общую занятость работников и ресурсов, а также простои работников в очередях.

Решение проблемы включает следующие задачи:

1. Построение формальной модели производства.
2. Построение компьютерной модели производства.
3. Построение формальных показателей производства.
4. Построение способа вычисления показателей производства по результатам моделирования.
5. Вычисление показателей производства моделированием.

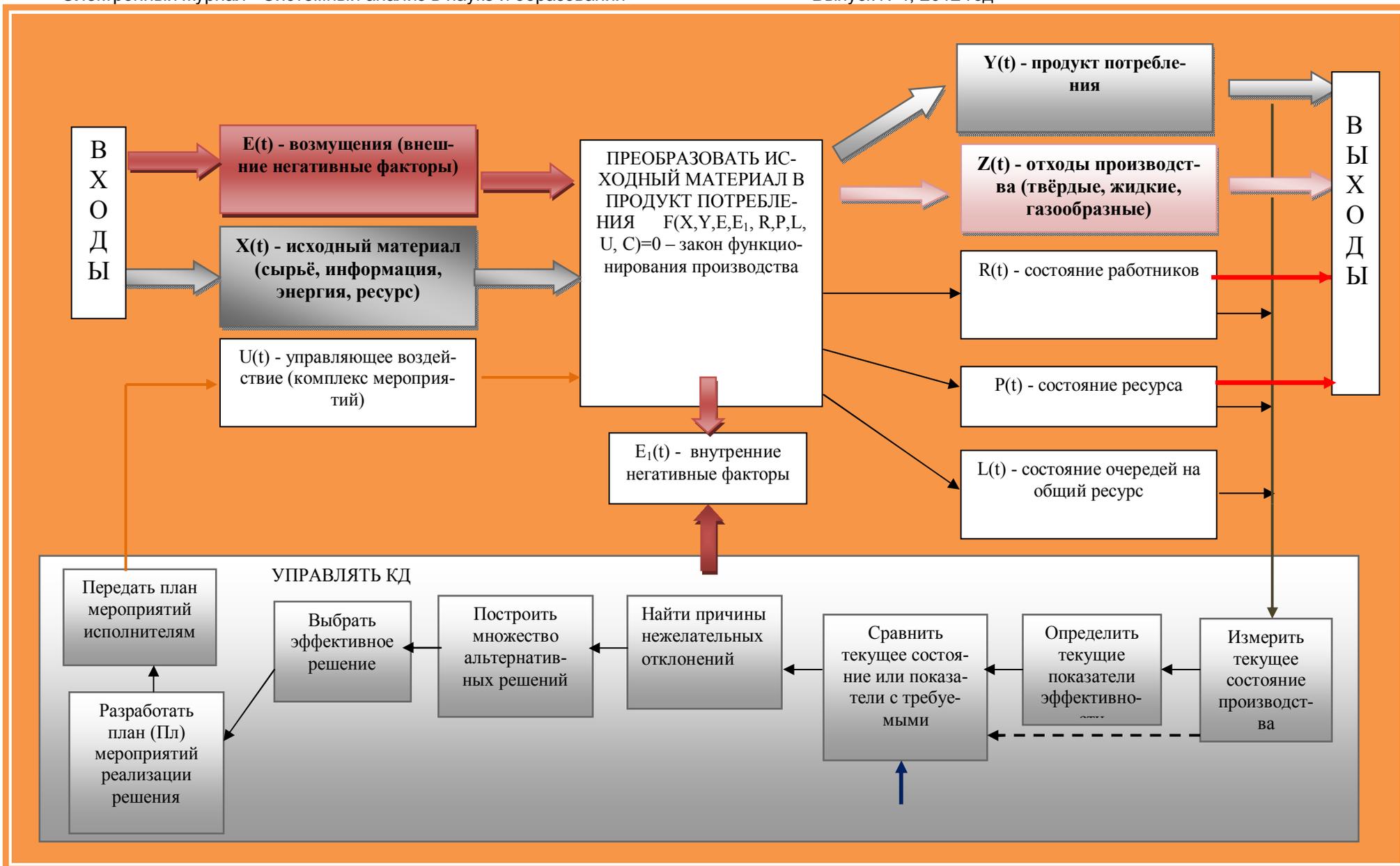


Рис. 3. Обобщённая структурно-функциональная модель коллективной деятельности

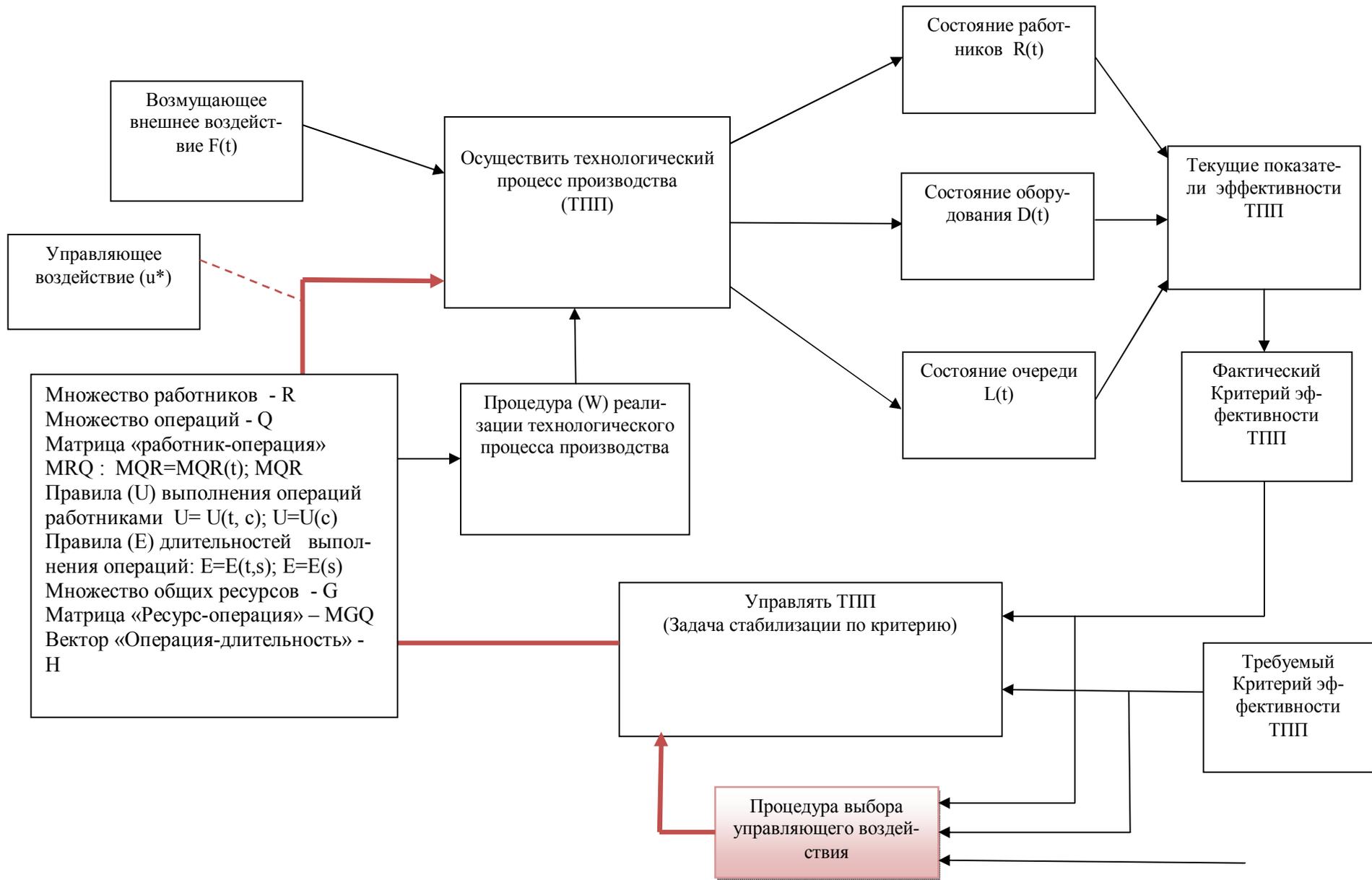


Рис. 4. Управляющее воздействие

## Концептуальная модель производства

Концептуальная модель производства – это совокупность принципов (основных положений), являющиеся основой для построения широкого класса моделей производства. Концептуальная модель производства представляет собой стратегический план исследования, содержащий теоретико-методологические подходы, проблемы исследования, понятийный аппарат, гипотезы, методику сбора и обработки данных. Концептуальная модель производства включает следующие принципы, называемые системными принципами производства:

1. открытость (модели отражают обмен с окружающей средой по различным каналам: веществом энергией информацией);
2. управляемость;
3. упорядоченность (иерархичность);
4. неоднородность;
5. согласованность;
6. синхронность;
7. развитие;
8. технологичность;
9. периодичность (цикличность)
10. параллелизм (процессов и событий во времени – в один и тот же момент времени в разных или одной и той же точке  $(ax)$  пространства происходят различные согласованные процессы, события);
11. ареольность (пространственно-временная зона влияния производства на ОС);
12. корпоративность;
13. целенаправленность;
14. причинность (причина предшествует следствию или следствие предшествует причине);
15. функциональность (компоненты производства характеризуются определённой функциональностью и тем самым различаются между собой);
16. иерархическая многокритериальность;
17. многоуровневость управления.

Если же описывать производство с точки зрения его организации, то можно выделить следующие организационные признаки производства:

- 1. Пропорциональность в организации производства** предполагает соответствие пропускной способности (относительной производительности в единицу времени) всех подразделений предприятия – цехов, участков, отдельных рабочих мест по выпуску готовой продукции. Степень пропорциональности производства, а может быть охарактеризована величиной отклонения пропускной способности (мощности) каждого передела от запланированного ритма выпуска продукции:

$$\sigma = \sqrt{\sum_1^m \frac{(h - h_2)}{m}}$$

где  $m$  – количество переделов или стадий изготовления продукта;  $h$  – пропускная способность отдельных переделов;  $h_2$  – запланированный ритм выпуска продукции (объем производства по плану).

Пропорциональность производства исключает перегрузку одних участков, т. е. возникновение «узких мест», и недоиспользование мощностей в других звеньях, является предпосылкой равномерной работы предприятия и обеспечивает бесперебойный ход производства.

Базой соблюдения пропорциональности является правильное проектирование предприятия, оптимальное сочетание основных и вспомогательных производственных звеньев. Однако при современных темпах обновления производства, быстрой сменяемости номенклатуры производимой продукции и сложной кооперации производственных звеньев задача поддержания пропорциональности производства становится постоянной. С изменением производства меняются взаимоотношения между производственными звеньями, загрузка отдельных переделов. Перевооружение определенных подразделений производства изменяет установившиеся пропорции в производстве и требует повышения мощности смежных участков.

Одним из методов поддержания пропорциональности в производстве является оперативно-календарное планирование, которое позволяет разрабатывать задания для каждого производственного звена с учетом, с одной стороны, комплексного выпуска продукции, а с другой – наиболее полного использования возможностей производственного аппарата. В этом случае работа по поддержанию пропорциональности совпадает с планированием ритмичности производства.

Пропорциональность в производстве поддерживается также своевременной заменой орудий труда, повышением уровня механизации и автоматизации производства, путем изменений в технологии производства и т. д. Это требует системного подхода к решению вопросов реконструкции и технического перевооружения производства, планирования освоения и пуска новых производственных мощностей.

Усложнение продукции, использование полуавтоматического и автоматического оборудования, углубление разделения труда увеличивает параллельно проводимых процессов по изготовлению одного продукта, органическое сочетание которых надо обеспечить, т. е. дополняет пропорциональность принципом параллельности.

- 2. Параллельность.** Под параллельностью понимается одновременное выполнение отдельных частей производственного процесса применительно к разным частям общей партии деталей. Чем шире фронт работ, тем меньше, при прочих равных условиях, длительность изготовления продукции. Параллельность реализуется на всех уровнях организации. На рабочем месте параллельность обеспечивается совершенствованием структуры технологической операции, и в первую очередь технологической концентрацией, сопровождающейся многоинструментальной либо многопредметной обработкой. Параллельность в выполнении основных и вспомогательных элементов операции заключается в совмещении времени машинной обработки со временем установки к съема деталей, контрольных промеров, загрузки и выгрузки аппарата с основным технологическим процессом и т. п. Параллельное выполнение основных процессов реализуется при многопредметной обработке деталей, одновременном выполнении сборочно-монтажных операций над одинаковыми или различными объектами.

Уровень параллельности производственного процесса может быть охарактеризован при помощи коэффициента параллельности  $K_n$ , исчисляемого как соотношение длительности производственного цикла при параллельном движении предметов труда  $T_{пр.ц}$  и фактической его длительности  $T_{ц}$ :

$$K_n = \frac{\sum_1^m T_{пр.ц.}}{\sum_1^m T_{ц}},$$

где  $n$  – количество переделов.

- 3. Непрерывность.** В условиях сложного многозвенного процесса изготовления продукции все большее значение приобретает непрерывность производства, что обеспечивает ускорение оборачиваемости средств. Повышение непрерывности – важнейшее направление интенсификации производства. На рабочем месте она достигается в процессе выполнения каждой операции путем сокращения вспомогательного времени (внутриоперационных перерывов), на

участке и в цехе при передаче полуфабриката с одного рабочего места на другое (межоперационных перерывов) и на предприятии в целом, сведение перерывов до минимума в целях максимального ускорения оборачиваемости материально-энергетических ресурсов (межцехового прослеживания).

Непрерывность работ в пределах операции обеспечивается прежде всего совершенствованием орудий труда – введением автоматической переналадки, автоматизацией вспомогательных процессов, использованием специальной оснастки и приспособлений.

Сокращение межоперационных перерывов связано с выбором наиболее рациональных методов сочетания и согласования частичных процессов во времени. Одной из предпосылок сокращения межоперационных перерывов является применение непрерывных транспортных средств; использование в процессе производства жестко взаимосвязанной системы машин и механизмов, применение роторных линий. Степень непрерывности производственного процесса может быть охарактеризована коэффициентом непрерывности  $K_n$ , исчисляемым как соотношение длительности технологической части производственного цикла  $T_{ц,тех}$  и продолжительности полного производственного цикла  $T_{ц}$ :

$$K_n = \frac{\sum_1^m T_{ц,тех.}}{\sum_1^m T_{ц}}$$

где  $m$  – общее количество переделов.

Непрерывность производства рассматривается в двух аспектах: непрерывного участия в процессе производства предметов труда-сырья и полуфабрикатов и непрерывной загрузки оборудования и рационального использования рабочего времени. Обеспечивая непрерывность движения предметов труда, одновременно необходимо свести к минимуму остановки оборудования для переналадки, в ожидании поступления материалов и т. п. Это требует повышения однообразия работ, выполняемых на каждом рабочем месте, а также использования быстропереналаживаемого оборудования (станков с программным управлением), копировальных станков и т. д.

- 4. Прямоточность.** Одной из предпосылок непрерывности производства является прямоточность в организации производственного процесса, которая представляет собой обеспечение кратчайшего пути прохождения изделием всех стадий и операций производственного процесса, от запуска в производство исходных материалов и до выхода готовой продукции. Прямоточность характеризуется коэффициентом  $K_{пр}$ , представляющим соотношение длительности транспортных операций  $T_{тр}$  к общей продолжительности производственного цикла  $T_{ц}$ :

$$K_{пр} = 1 - \frac{\sum_1^j T_{тр}}{\sum_1^m T_{ц}}$$

где  $j$  – количество транспортных операций.

В соответствии с этим требованием взаимное расположение зданий и сооружений на территории предприятия, а также размещение в них основных цехов должно соответствовать требованиям производственного процесса. Поток материалов, полуфабрикатов и изделий должен быть поступательным и кратчайшим, без встречных и возвратных движений. Вспомогательные цехи и склады должны размещаться возможно ближе к обслуживаемым ими основным цехам.

- 5. Ритмичность.** Для обеспечения полного использования оборудования, материально-энергетических ресурсов и рабочего времени важное значение имеет ритмичность производства, являющаяся основополагающим принципом организации производства. Принцип ритмичности предполагает равномерный выпуск продукции и ритмичный ход производства.

Уровень ритмичности может быть охарактеризован коэффициентом  $K_p$ , который определяется как сумма отрицательных отклонений достигнутого выпуска продукции от заданного плана

$$K_p = 1 - \frac{\sum_1^n A}{П}$$

где  $\sum_1^n A$  – сумма ежедневно недоданной продукции;  $n$  – длительность планового периода, дни;  $П$  – плановый выпуск продукции.

Равномерный выпуск продукции означает изготовление в равные промежутки времени одинакового или постепенно возрастающего количества продукции. Ритмичность производства выражается в повторении через равные промежутки времени частных производственных процессов на всех стадиях производства и осуществлении на каждом рабочем месте в равные промежутки времени одинакового объема работ, содержание которых в зависимости от метода организации рабочих мест может быть одинаковым или различным.

Ритмичность производства – одна из основных предпосылок рационального использования всех его элементов. При ритмичной работе обеспечивается полная загрузка оборудования, нормальная его эксплуатация, улучшается использование материально-энергетических ресурсов, рабочего времени.

Обеспечение ритмичной работы является обязательным для всех подразделений производства – основных, обслуживающих и вспомогательных цехов, материально-технического снабжения. Неритмичная работа каждого звена приводит к нарушению нормального хода производства.

Порядок повторения производственного процесса определяется производственными ритмами. Необходимо различать ритм выпуска продукции (в конце процесса), операционные (промежуточные) ритмы, а также ритм запуска (в начале процесса). Ведущим является ритм выпуска продукции. Он может быть длительно устойчивым только при условии, если соблюдаются операционные ритмы на всех рабочих местах. Методы организации ритмичного производства зависят от особенностей специализации предприятия, характера изготавливаемой продукции и уровня организации производства. Ритмичность обеспечивается организацией работы во всех подразделениях предприятия, а также своевременной его подготовкой и комплексным обслуживанием.

6. **Гибкость.** Современный уровень научно-технического прогресса предполагает соблюдение гибкости организации производства. Традиционные принципы организации производства ориентированы на устойчивый характер производства – стабильную номенклатуру продукции, специальные виды оборудования и т. п. В условиях быстрого обновления номенклатуры продукции меняется технология производства. Между тем быстрая смена оборудования, перестройка его планировки вызвали бы неоправданно высокие затраты, и это явилось бы тормозом технического прогресса; невозможно также часто менять производственную структуру (пространственную организацию звеньев). Это выдвинуло новое требование к организации производства – гибкость. В поэлементном разрезе это означает прежде всего быструю переналаживаемость оборудования. Достижения микроэлектроники создали технику, способную к широкому диапазону использования и производящую в случае необходимости автоматическую самоподналадку.

Широкие возможности повышения гибкости организации производства дает использование типовых процессов выполнения отдельных стадий производства. Хорошо известно построение переменного-поточных линий, на которых без их перестройки может изготавливаться различная продукция. Так, сейчас на обувной фабрике на одной поточной линии изготавливаются различные модели женской обуви при однотипном методе крепления низа; на автосборочных конвейерных линиях без переналадки происходит сборка машин не только разной расцветки, но и модификации. Эффективно создание гибких автоматизированных производств, основанных на применении роботов и микропроцессорной техники. Большие возможности в этом

плане обеспечивает стандартизация полуфабрикатов. В таких условиях при переходе на выпуск новой продукции или освоении новых процессов нет необходимости перестраивать все частичные процессы и звенья производства.

- 7. Комплексность.** Одним из важнейших принципов организации производства является ее комплексность, сквозной характер. Современные процессы изготовления продукции характеризуются сращиванием и переплетением основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, при этом вспомогательные и обслуживающие процессы занимают все большее место в общем производственном цикле. Это связано с известным отставанием механизации и автоматизации обслуживания производства по сравнению с оснащенностью основных производственных процессов. В этих условиях становится все более необходимой регламентация технологии и организации выполнения не только основных, но и вспомогательных и обслуживающих процессов производства.

Управленческое решение – это комплекс мероприятий направленных на устранение нежелательного рассогласования между текущим состоянием процесса коллективной деятельности и требуемым.

Под пространством состояния КД понимаются: совокупность состояний членов КД, ресурсов и т.д. или совокупность согласованных показателей качества КД.

Каждый показатель качества КД является функционалом от состояний процесса КД. Поскольку процессы КД являются параметрическими, тем самым согласованные показатели эффективности являются тоже параметрическими в неявной форме.

Для принятия управленческого решения необходимо определить цель. К основным целям УР относятся:

1. Эффективное использование ресурсов КД.
2. Стабилизация КД в пространстве состояний или пространстве согласованных показателей эффективности КД (рис. 5).
3. Улучшение показателей эффективности по сравнению с достигнутыми.

Технология поддержки принятия УР на основе моделирования включает методику и средства достижения целей (1-3) на основе моделирования.

Для задачи 1 методика включает следующие этапы:

построение модели КД как должно быть (по первичной информации или вторичной);

построение модели КД «как есть»;

определение состояний моделей «как должно быть» и «как есть»;

выявление рассогласования между состояниями моделей;

выявление причин и проверка их моделированием;

формирование предложений по устранению причин;

проверка предложений моделированием;

отбор наиболее значимых предложений;

формирование предложений в необходимой форме для принятия решения.

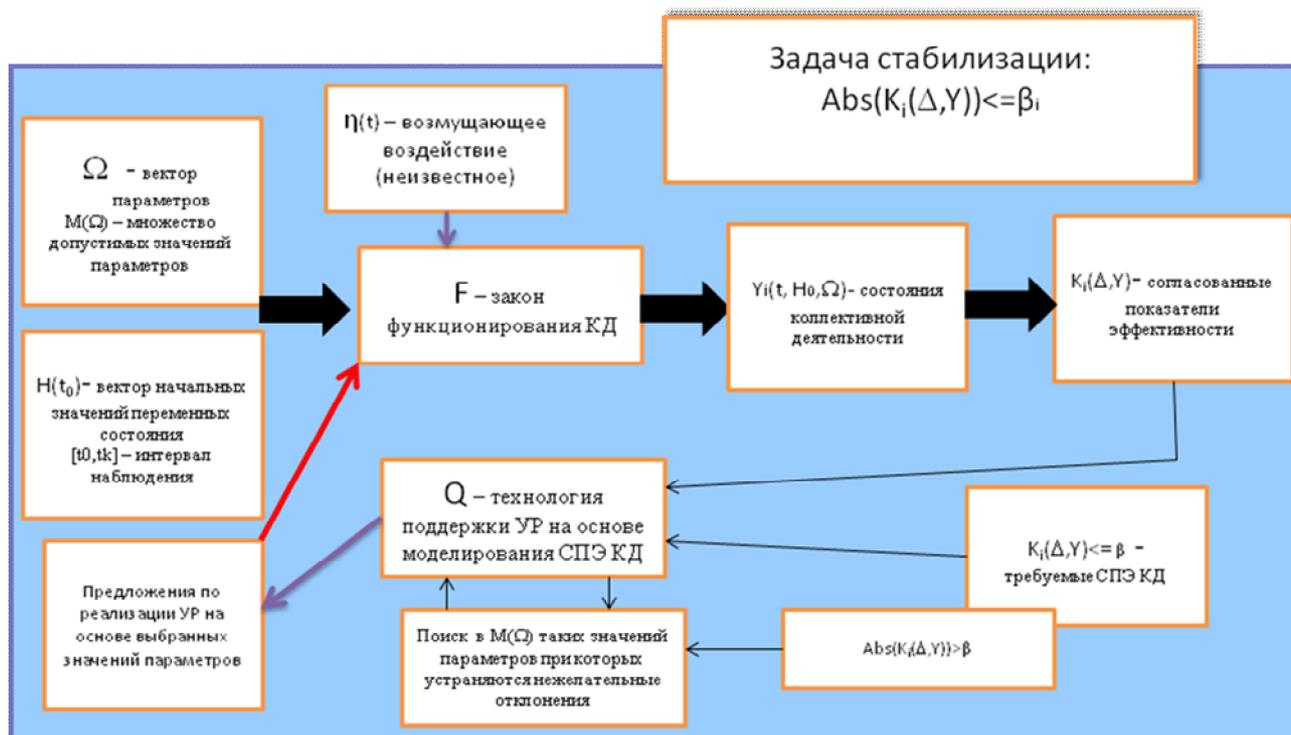


Рис. 5. Задача стабилизации

Таким образом, выше продемонстрировано, что согласованная система показателей эффективности коллективной деятельности может служить методологической целостностью методического и программно-технологического, а основным инструментом – моделирование показателей эффективности. Пространство состояний (выходы) модели должно быть такими, чтобы обеспечивалась возможность определения показателей качества коллективной деятельности. Так как любая из рассмотренных моделей является параметрической, то все показатели эффективности являются зависимыми от комплекса параметров модели. И на основе такой зависимости возникает возможность решения задач (в пространстве параметрических показателей) результаты которых могут служить основой для поддержки принятия управленческих решений.

### Список литературы

1. Караткевич С.Г., Добрынин В.Н., Окладникова Е.А., Ульянов С.В. Социально-экономическое и интеллектуальное управление в социотехнических системах. – М.: ВНИИгерсистем, 2011. – С. 398.
2. Ульянов С.В., Литвинцева Л.В., Добрынин В.Н., Мишин А.А. Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений. – М.: ВНИИгерсистем, 2011. – С. 408.
3. Александрович В.М. Математические модели в планировании производства. Учебное пособие / В.М. Александрович; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2009. – С. 196.