

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БИАЛЕЕВ Анвер Касимович

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
В ДВУХУРОВНЯХ АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.01 – техническая
кибернетика и теория информации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1980

Работа выполнена на кафедре проблем управления Московского ордена Трудового Красного Знамени физико-технического института.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Бурков В.Н.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук,
доцент Ириков В.А.
- кандидат физико-математических
наук Горелик В.А.

Ведущая организация - Центральный экономико-математический
институт.

Зашита состоится "23" XII 1980 г. в 10⁴⁰ час.
на заседании специализированного совета К 063.Э1.08 Московского
физико-технического института (г.Долгопрудный, Московской обл.,
Институтский пер., 9).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
физико-технического института.

Автореферат разослан "12" XI 1980 г.

ученый секретарь
специализированного совета
К. Т. Н.

Пищулин В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. На современном этапе важнейшей проблемой управления экономикой страны является проблема совершенствования хозяйственного механизма и, в частности, совершенствования и разработки новых, более эффективных методов экономического стимулирования и планирования производства.

Большую актуальность в связи с этим приобретает развитие теории организационных систем, располагающей методами и рекомендациями по совершенствованию и повышению действенности механизмов стимулирования и планирования в экономике.

В последнее время интенсивное развитие получило ряд направлений, разрабатывавших математические методы планирования и организационного управления. Это, например, методы оптимального планирования, методы согласования плановых решений, информационная теория иерархических систем, теория игр с непротивоположными интересами, имитационное моделирование экономических систем и др.

Одно из новых и перспективных направлений по разработке методов организационного управления представлено теорией активных систем. Предметом исследования этой теории являются системы, в состав которых имеются объекты управления, обладающие свойством "активности". Это свойство связано с присутствием в объектах управления человека. Формализация особенностей поведения таких объектов и систем, а именно, наличия у объектов управления собственных интересов и целей, способности вносить изменения в передаваемую информацию и работать с различной эффективностью (исходя из своих интересов), привела к понятию активного элемента и активной системы.

Задачи управления в активных системах заключаются в анализе и синтезе механизмов функционирования активных систем, т.е. механизмов стимулирования и процедур планирования, обеспечивающих требуемые свойства функционирования систем (сообщение достоверной информации, выполнение установленных планов, оптимальность и др.).

К настоящему времени некоторые задачи теории активных систем остаются нерешенными. Так, несмотря на то, что большое число работ посвящено анализу механизмов стимулирования и законов управления, вопрос об условиях, при которых обеспечивается выполнение планов в системах с частичной централизацией планирования, является недостаточно изученным. А наряду с тем, что в теории активных систем имеются важные результаты по решению задач синтеза законов управления, еще остаются открытыми многие вопросы синтеза оптимальных механизмов стимулирования. Весьма актуальной является также задача разработки рекомендаций по организации стимулирования в стохастических активных системах, так как управление производственными процессами, как правило, осуществляется при наличии случайных возмущений.

Цель работы. Цель настоящей работы заключается в дальнейшей разработке и решении задач теории активных систем, в первую очередь, определении механизмов стимулирования, при которых назначение в системе оптимальные планы активными элементами выполняются; решения задач синтеза оптимальных механизмов стимулирования и планирования; разработка рекомендаций по организации стимулирования в производстве.

Научная новизна работы. В диссертационной работе и статьях, опубликованных по теме диссертации, автором впервые найдены достаточные условия, при выполнении которых обеспечивается совпадение

выбираемого активными элементами состояния с оптимальным планом, а также условия, при которых обеспечивается ограниченное отклонение выбираемого состояния от плана. Решена задача синтеза оптимальных систем стимулирования и законов управления при полной информированности центра в детерминированных активных системах. Установлена связь между полученным в диссертационной работе решением задачи оптимального синтеза системы стимулирования и решением задачи определения оптимальной стратегии в игре двух лиц с непротивоположными интересами (теоремой И.Б. Гермейера). Построенную в работе модель стимулирования и управления производственными процессами можно рассматривать как модель стохастической активной системы. Для этой модели решена задача синтеза оптимальной системы стимулирования. Проведенный анализ оптимальной системы стимулирования в стохастическом случае позволил определить причины снижения эффективности по сравнению с детерминированным случаем и найти способы увеличения качества системы стимулирования. С этой целью предложен и исследован двухканальный способ организации стимулирования. Найдены условия большей эффективности двухканального способа организации стимулирования в стохастической активной системе по сравнению с оптимальным одноканальным способом стимулирования.

Практическая ценность работы. Предложенные в работе механизмы функционирования активных систем с сильно согласованными системами стимулирования и согласованными законами управления могут быть использованы при решении практических задач организации активного функционирования плановой экономики, в которой важным является требование выполнения экономическими объектами плановых заданий. Использование согласованных систем стимулирования позволяет

обеспечить наряду с выполнением плана максимальную эффективность функционирования системы. При этом назначаемые в системе оптимальные планы являются в определенном смысле выгодными и для элементов нижнего уровня. Решения задач синтеза оптимальных механизмов стимулирования и законов управления как в детерминированных, так и в стохастических активных системах могут быть непосредственно применены при разработке систем стимулирования на производстве.

Реализация результатов работы. Полученные в диссертации результаты реализованы в виде рекомендаций по организации стимулирования производственных процессов. Вынуждение системы стимулирования, разработанной на основе этих рекомендаций, в кислородно-конвертерном цехе Карагандинского металлургического комбината привело к повышению эффективности управления процессом выплавки конвертерной стали, что в конечном счете выразилось в росте производительности труда, экономии дорогостоящих материалов, увеличении срока службы технологического оборудования. Основные результаты работы проверены в процессе внедрения и промышленной эксплуатации и подтверждены экономическим эффектом.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, доказывались на научных семинарах Института проблем управления, Вычислительного Центра АН СССР, на научных конференциях МЭТИ (Долгоруковский, 1977 и 1978 гг.), на УГ Всесоюзной школе-семинаре по управлению большими системами (Тобольск, 1979 г.), на конференции "Организационно-экономические вопросы повышения эффективности деятельности научно-исследовательских и проектно-конструкторских учреждений" (Москва, МЭИПИ, 1980 г.), на конкурсах лучших работ Института проблем управления (1979 г.) и представлена на УГ фундаментальном симпозиуме "Приславные проблемы больших систем

управления" (Болгария, 1977).

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано шесть научных работ общим объемом 2,6 печатных листа.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии, изложенных на 144 стр. Список цитированной литературы включает 85 наименований. Диссертация содержит 7 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, сформулирована цель и определены задачи работы, кратко изложены основные положения диссертации.

В первой главе дается описание двухуровневой активной системы (АС) и механизма ее функционирования, вводится понятие эффективности механизма функционирования, производится постановка задач управления в активных системах.

Двухуровневая АС состоит из центра и n подчиненных ему активных элементов (АЗ). Каждый i -й АЗ характеризуется состоянием $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ir_i})$ из P_i показателей, управляемым параметром π_i и параметрами ω_i воздействий внешней среды.

Состояние y_i может принимать значения из компактного множества $Y_i = Y_i(\omega_i)$ допустимых состояний, управление параметром π_i осуществляется центром из множества Π_i , их допустимые значения, а ω_i принимают значения из множества Ω_i . Параметры π_i называются планами и устанавливаются центром как характеристика изменения агрегата состояния

$\tilde{x}_i = (\tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{iq_i}) = (\xi_{i1}(y_i), \xi_{i2}(y_i), \dots, \xi_{iq_i}(y_i))$, где
 $\xi_i(\cdot) = (\xi_{i1}(\cdot), \dots, \xi_{iq_i}(\cdot))$ – заданный оператор агрегирования.
Совокупность $y = \{y_i\}$ состояний всех элементов образует
составление всей АС, которое может принимать значения из множества
 Y конустических состояний системы.

Целевая функция центра $W_i = \Phi(\bar{x}_i, y)$ зависит от планов
 $\mathcal{F} = \{\bar{x}_i\}$ и состояния $y = \{y_i\}$ системы. Предполагается, что
 $\Phi(\bar{x}_i, y) \leq \varphi(\xi(y), y)$.

Это неравенство отражает потерю центра при невыполнении плана.

Активные элементы выбирают состояния y_i , максимизируя в
процессе функционирования АС свою целевую функцию $W_i = f_i(\bar{x}_i, y_i)$,
т.е.

$$y_i \in R_i(W_i, \bar{x}_i, \omega_i) = \arg \max_{y_i \in Y_i(\omega_i)} f_i(\bar{x}_i, y_i),$$

где $R_i(W_i, \bar{x}_i, \omega_i)$ является множеством решений игры АЗ.

Задачей центра является установление механизма функционирования активной системы, который определяется системой стимулирования
 $W = \{W_i\}$, т.е. набором целевых функций элементов, и законом планирования $\mathcal{F} = \{\bar{x}_i\}$.

Эффективность механизма функционирования Σ для детерминированных АС (ω – детерминировано и известно центру) измеряется значением показателя

$$K(\Sigma) = \frac{f}{J_{\max}(\omega)} \inf_{y \in R(W, \bar{x}, \omega)} \Phi(\bar{x}, y),$$

$$\text{где } J_{\max}(\omega) = \max_{y \in Y(\omega)} \varphi(\xi(y), y), \quad R(W, \bar{x}, \omega) = \prod_i R_i(W_i, \bar{x}_i, \omega_i),$$

а для стохастических АС ($\omega = \{\omega_i\}$ – случайные величины, центру известна функция распределения $F(\omega)$) изменяется значением показателя

$$X(\Sigma) = \frac{\int_{y \in R(W, \bar{x}, \omega)} \varphi(\xi(y), y) dF(\omega)}{\int J_{\max}(\omega) dF(\omega)}.$$

Задача анализа заданного механизма функционирования заключается в определении величины $K(\Sigma)$ или $X(\Sigma)$, а также вычислении показателя $\Delta(\Sigma) = \sup_{y \in R(W, \bar{x}, \omega)} \|\mathcal{F} - \xi(y)\|$ степени отклонения реализации от плана.

Задача синтеза заключается в построении механизма Σ^* , удовлетворяющего заданным условиям, $\Sigma^* \in G$, в частности, задача оптимального синтеза заключается в определении Σ^* , удовлетворяющего условию

$$K(\Sigma^*) > \sup_{\Sigma \in G} K(\Sigma) - \varepsilon, \quad (1)$$

где G – заданное множество механизмов, ε – достаточно малое положительное число. При фиксированной системе стимулирования W задача (1) является задачей синтеза оптимального закона управления, а при фиксированном законе управления – задачей синтеза оптимальной системы стимулирования.

Для детерминированных АС множество решений игры будем обозначать $R(W, \mathcal{F})$.

Во второй главе исследуются механизмы, обеспечивающие выполнение элементарных планов в детерминированных АС. Такие механизмы функционирования называются правильными.

Пусть G представляет собой множество механизмов с фиксированной системой стимулирования W . Тогда решением задачи (1) является механизм функционирования $\sum^{\text{опт}} = (W, \mathcal{F}^{\text{опт}})$, где $\mathcal{F}^{\text{опт}}$ обозначает план, являющийся решением задачи оптимального планирования с прогнозом состояний (ОШ), т.е. $\mathcal{F}^{\text{опт}}$ удовлетворяет неравенству $\Psi(W, \mathcal{F}^{\text{опт}}) > \sup_{\mathcal{F} \in \Pi} \Psi(W, \mathcal{F}) - \varepsilon$, где

$$\Psi(W, \mathcal{F}) = \inf_{y \in K(W, \mathcal{F})} \Phi(\mathcal{F}, y), \quad \Pi - \text{множество допустимых планов.}$$

Применение такой процедуры планирования, вообще говоря, не обеспечивает назначение планов, которые будут выполнены элементами, хотя необходимость выполнения планов на практике является весьма существенным требованием.

Рассмотрение механизмов, обеспечивающих совпадение состояния с планом, для удобства далее ведется в случае одного АЭ. В конце главы результаты обобщаются на случай Π элементов и планирования агрегированных показателей.

Будем говорить, что выполняется "условие благожелательности", если при $\mathcal{F} \in R(W, \mathcal{F})$ АЭ выбирает состояние $y^* = \mathcal{F}$.

Назовем множество $S(W) = \{\mathcal{F} \in \Pi | \forall Y \max_{y \in Y} f(\mathcal{F}, y) = f(\mathcal{F}, \mathcal{F})\}$ согласованных планов. Смысл названия в том, что при "условии благожелательности" любой план $\mathcal{F} \in S(W)$ будет обязательно выполнен элементами, действующими в силу своих критериев W рационально.*

Использование в АС механизмов $\sum^{\text{осу}} = (W, \mathcal{F}^{\text{осу}})$, в которых план $\mathcal{F}^{\text{осу}}$ назначается в результате решения задачи оптимального согласованного управления (ОСУ) $\Psi(W, \mathcal{F}^{\text{осу}}) > \sup_{\mathcal{F} \in S(W)} \Psi(W, \mathcal{F}) - \varepsilon$, позволяет обеспечить выполнение плана. Однако эффективность функционирования системы при этом может уменьшиться: $K(\sum^{\text{осу}}) \leq K(\sum^{\text{опт}})$.

*Достаточные условия оценки эффективности

механизмов $\sum^{\text{осу}}$ и $\sum^{\text{опт}}$ дают следующие теоремы.

Теорема 2.1. Пусть выполняется "условие благожелательности" в $S(W) = P(W)$, тогда $K(\sum^{\text{опт}}) = K(\sum^{\text{осу}})$, где $P(W) = \bigcup_{x \in \Pi} R(W, x)$ - множество всех возможных решений игры.

Теорема 2.2. Пусть выполняется "условие благожелательности", $P(W) \subset \prod_{x \in \Pi}$

$$\forall \mathcal{F}, y \in P(W), \forall x \in \Pi :$$

$$f(\mathcal{F}, \mathcal{F}) + f(x, y) \geq f(x, \mathcal{F}) + f(\mathcal{F}, y), \quad (2)$$

тогда $K(\sum^{\text{опт}}) = K(\sum^{\text{осу}})$.

Часто целевая функция АЭ имеет вид

$$W = h(y) - \chi(\mathcal{F}, y),$$

где $\chi(\mathcal{F}, y) \geq \chi(\mathcal{F}, \mathcal{F})$, $\chi(\mathcal{F}, \mathcal{F}) \leq 0$. Функция $h(y)$ может представлять собой доход или потери АЭ при выборе состояния y , а функция $\chi(\mathcal{F}, y)$ имеет смысл штрафов за отклонение состояния от плана и поощрения за выполнение плана, если $\chi(\mathcal{F}, \mathcal{F}) < 0$,

$$\chi(\mathcal{F}, y) \geq 0 \quad \text{при } \mathcal{F} \neq y.$$

В этом случае справедливо

Следствие. $K(\sum^{\text{осу}}) = K(\sum^{\text{опт}})$, если $\forall y, \mathcal{F} \in P(W), \forall x \in \Pi$:

$$\chi(\mathcal{F}, \mathcal{F}) + \chi(\mathcal{F}, y) \leq \chi(x, \mathcal{F}) + \chi(\mathcal{F}, y). \quad (3)$$

В случае, когда $\chi(\mathcal{F}, \mathcal{F}) = 0$, т.е. $\chi(\mathcal{F}, y)$ является функцией штрафов за не выполнение плана, соотношение (3) превращается в неравенство "треугольника"

$$\chi(x, y) \leq \chi(x, \mathcal{F}) + \chi(\mathcal{F}, y). \quad (4)$$

Отметим, что многие применяемые функции штрафа за невыполнение плана удовлетворяют условию (4). Примерами таких функций являются "линейные" штрафы $\bar{\chi}(\mathcal{F}, y) = \sum_{s=1}^{\rho} \alpha_s |\mathcal{F}_s - y_s|$, где ρ – размерность плана \mathcal{F} и состояния y , $\alpha_s \geq 0$, или штрафы

$$\bar{\chi}(\mathcal{F}, y) = \begin{cases} C(y), & \text{если } y \neq \mathcal{F}, \\ 0, & \text{если } y = \mathcal{F}, \end{cases} \quad \text{величина которых не зависит от плана } \mathcal{F}, \quad C(y) \geq 0.$$

При использовании закона ОСУ нет необходимости прогнозировать выбираемое АЭ состояние, поскольку $y = \mathcal{F}$. Это позволяет предложить закон ОСУ в виде решения задачи $\Phi(\mathcal{F}^{osc}, \mathcal{F}^{osc}) > \delta$ для $\Phi(\mathcal{F}, \mathcal{F}) - \delta$. Таким образом, задача выполнения оптимального плана \mathcal{F}^{osc} может упроститься по сравнению с задачей ОШ.

При этом однако необходимо определить множество $S(W)$ согласованных планов. В главе рассматривается пример, в котором характеризуется множество $S(W)$ при использовании "линейных" штрафов за невыполнение плана.

Если $\tilde{h}(y)$ строго возрастает, а функции $\tilde{g}_j(y)$, определяющие множество допустимых векторов состояний $Y = \{y \mid \tilde{g}_j(y) \geq 0, j \in J\}$, возрастут и выполнено требование регулярности для ограничений $\tilde{g}_j(y) \geq 0$, то $S(W)$ характеризуется следующим утверждением: план \mathcal{F} является согласованным тогда и только тогда, когда $\exists \ell_j \geq 0, j \in J$, такие, что $\ell_j \cdot \tilde{g}_j(\mathcal{F}) = 0$,

$$|\nabla \tilde{h}(x) + \sum_{j \in J} \ell_j \nabla \tilde{g}_j(x)| \leq \alpha, \quad \text{где } \alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\rho).$$

В некоторых случаях строгое выполнение планов может оказаться необязательным, а лишь требуется, чтобы реализация y отклонялась от плана \mathcal{F} не более, чем на заданную величину Δ , т.е. требуется, чтобы $\Lambda(\Sigma) \leq \Delta$.

Для этих случаев в главе определяются оптимальные законы управления, обеспечивающие ограниченное отклонение реализации от плана, и доказывается теорема 2.3, обобщенная результатом теоремы 2.2.

В третьей главе рассматриваются задачи синтеза оптимальных механизмов функционирования для детерминированной модели АС.

В § I определены достаточные условия, при выполнении которых из сравнения систем стимулирования различных механизмов функционирования можно сделать вывод об отношении их показателей эффективности (теорема 3.1). Используя результат теоремы 3.1, в § 2 находятся решения ряда задач оптимального синтеза. При этом рассматриваются классы G_Σ допустимых механизмов функционирования, удовлетворяющие следующему условию: если $\Sigma^* = (W, \mathcal{F}) \in G_\Sigma$, то $\Sigma^{opt} = (W, \mathcal{F}^{opt}) \in G_\Sigma$, т.е. при любой допустимой системе стимулирования W допустимым является закон ОШ.

Благодаря оптимальности закона $\mathcal{F}^{opt} = \mathcal{F}^{opt}(W)$ при любой системе стимулирования W , для нахождения решения $\Sigma^* = (W^*, \mathcal{F}^{opt}(W^*))$ задачи (I) достаточно найти оптимальную систему стимулирования W^* .

При выполнении "условия благожелательности" оптимальные системы стимулирования устанавливаются следующими теоремами.

Теорема 3.2. Пусть задана функция $\tilde{W} = \tilde{f}(\mathcal{F}, y)$ такая, что $\rho(\tilde{W}) \subset \Pi$. Если $\tilde{f}(\mathcal{F}, y)$ удовлетворяет условию (2), то система стимулирования \tilde{W} оптимальна на множестве $G_W(\tilde{W}) = \{f(x, y) | f(x, y) - f(x, y') \leq \tilde{f}(y, y) - \tilde{f}(y', y'), x \in \Pi, y, y' \in P(\tilde{W})\}$, допустимых функций стимулирования.

Пусть задана система стимулирования $\tilde{W} = \tilde{h}(y) - \theta(\mathcal{F}, y)$, где $\theta(\mathcal{F}, y)$ – функция штрафов, и пусть $P(\tilde{W}) \subset \Pi$.

Теорема 3.3. Если функция штрафов $\theta(\mathcal{F}, y)$ удовлетворяет неравенству

"треугольника" (4), то она является оптимальной на множестве $\tilde{G}_\chi(\theta) = \{\chi(x,y) | \chi(x,y) - \lambda(\pi_y) \leq \theta(y, y'), x \in \Pi, y, y' \in P(\tilde{W})\}$.

Теорема 3.4. Решением задачи оптимального синтеза функций штрафов в классе $\tilde{G}_\chi = \{\chi(x,y) | 0 \leq \chi(x,y) \leq C(y), x \in \Pi, y \in Y\}$ является функция штрафа

$$\tilde{\chi}(x,y) = \begin{cases} C(y) & \text{если } y \neq \mathcal{F}, \\ 0 & \text{если } y = \mathcal{F}. \end{cases}$$

На практике распространены ограничения на системы стимулирования, имеющие вид

$$f_n(x, y) \leq f(x, y) \leq f_s(x, y). \quad (5)$$

Условие, когда максимальное стимулирование при выполнении плана и минимальное при невыполнении плана, т.е.

$$W^* = f^*(x, y) = \begin{cases} f_s(y, y), & \text{если } y = \mathcal{F}, \\ f_n(x, y), & \text{если } y \neq \mathcal{F}, \end{cases}$$

является решением задачи оптимального синтеза на множестве систем стимулирования, удовлетворяющих неравенству (5), устанавливаются следующий теоремой.

Теорема 3.5. Система стимулирования W^* оптимальна на множестве \tilde{W} , задаваемом ограничением (5), если $P(W^*) \subset \Pi$ и $\forall y, y' \in P(W^*) \quad y \neq y', \forall x \in \Pi :$

$$f_s(y', y') - f_s(x, y') \geq f_n(y', y) - f_n(x, y). \quad (6)$$

В теореме 3.6 показано, что W^* обеспечивает $K(\Sigma^{opt}) = K(\Sigma^{exp})$, если неравенство (6) выполняется для

$$\forall y, y' \in P(W^*) \quad \text{и } \forall x \in \Pi.$$

Нетрудно видеть, что если $f_n(x, y) = \tilde{f}_n(y) \cdot f_s(x, y) = \tilde{f}_s(y)$, т.е. ограничения (5) не зависят от плана, то условия теорем 3.5 и 3.6 выполнены.

В теории игр с непротивоположными интересами известен результат о решении задачи определения оптимальной стратегии первого игрока в игре двух лиц (Д.Б.Гермейер). Задача ставится следующим образом: определить стратегию $\tilde{\lambda}(y)$ первого игрока (центра), делающего первый ход и имеющего целевую функцию $\Phi(\lambda, y)$, в случае, когда целевая функция второго игрока (λ) $\Psi(\lambda, y)$ непрерывна, а стратегии λ, y соответственно первого и второго игроков выбираются из компактных множеств Λ и Y .

В главе показывается, что решение задачи синтеза оптимального механизма функционирования, представленного в теореме 3.5 для случая $f_n(x, y) = \tilde{f}_n(y) \cdot f_s(x, y) = \tilde{f}_s(y)$, соответствует решению приведенной выше задачи определения оптимальной стратегии в игре двух лиц с непротивоположными интересами. Тем самым устанавливается связь между задачей оптимального синтеза механизма функционирования и задачей синтеза оптимальной стратегии $\tilde{\lambda}(y)$ в теории игр с непротивоположными интересами.

Заметим, что поскольку теоремы 3.2, 3.5 формулируются для более общего случая, когда в ограничениях, задающих множество допустимых функций стимулирования, фигурирует план \mathcal{F} , а целевая функция центра также зависит от плана \mathcal{F} , то в соответствующих случаях можно говорить о более широкой области применения полученных в главе результатов по сравнению с результатами теории игр с непротивоположными интересами.

В четвертой главе разрабатывается и исследуются проблема стимулирования в человеко-машинных системах управления производством

ственными процессами.

Управляемый процесс описывается в виде $v_t^* = \varphi_t(\omega_t, u_t)$, где ϑ_t – вектор выхода, u_t – вектор управления, $u_t \in U$, ω_t – случайный вектор, задающий ситуацию в момент t , $\omega_t \in \Omega$ (индекс времени t ниже опускается). Управление процессом осуществляется системой, включающей в свой состав человека, выбирающего значения вектора U . В связи с этим производственный процесс вместе с системой управления удобно представить в виде АЭ, состоящего из A и Z , соединенных по центру. Управляющий элемент Z оценивает величину $\mathcal{Z} = \xi(U, v)$, которую он стремится максимизировать, выбирая функцию стимулирования. Целевая функция АЭ равна $W = \sigma(Z) - \zeta\left(\frac{Z}{Z^*}\right)$, где $\sigma(Z)$ – функция стимулирования, $\zeta\left(\frac{Z}{Z^*}\right)$ – функция затрат АЭ при реализации Z , $Z^* = \max_{u \in U} \xi(u, \varphi(\omega, u))$. Величина $\zeta = \frac{Z}{Z^*}$ характеризует относительную эффективность выбираемых элементами управления. Пусть центру известна функция распределения $F(z^*)$ случайной величины Z^* , тогда эффективность системы стимулирования определяется показателем

$$\mathcal{X}(\sigma) = \int_{Z \in R(\sigma, Z^*)} z dF(z^*) / \int z^* dF(z^*) ,$$

где $R(\sigma, Z^*) = \{Z \mid \sigma(Z) - \zeta\left(\frac{Z}{Z^*}\right) \geq 0\}$.

Задача синтеза оптимальной системы стимулирования ставится следующим образом: определить функцию $\sigma^* = \sigma^*(Z)$ такую, что

$$\mathcal{X}(\sigma^*) = \max_{\sigma \in \mathcal{G}} \mathcal{X}(\sigma), \quad (?)$$

где $\mathcal{G} = \{\sigma(Z) \mid 0 \leq \sigma(Z) \leq g\}$, g – фонд стимулирования.

Решение задачи синтеза (?) для линейной функции затрат $\zeta = \alpha \frac{Z}{Z^*}$ дает следующее утверждение.

Теорема 4.1. Пусть существует плотность распределения $dF(z^*) / dz^*$ на отрезке $[Z_n, Z_b]$, тогда оптимальной функцией стимулирования на \mathcal{G} является функция

$$\sigma^*(Z) = \begin{cases} g, & \text{если } Z \geq F, \\ 0, & \text{если } Z < F, \end{cases}$$

где $F = \frac{g \cdot F^0}{\alpha}$, а F^0 определяется либо как решение уравнения $F(F^0) + \frac{dF(F^0)}{dF^0} Z_n = f$ на отрезке $[Z_n, Z_b]$, либо $F^0 = Z_b$, если это уравнение не имеет решений на $[Z_n, Z_b]$. При этом показатель эффективности системы стимулирования равен

$$\mathcal{X}(\sigma^*) = \frac{g \cdot F^0}{\alpha} (f - F(F^0)) / \int z^* dF(z^*) .$$

Если функция затрат $\zeta(g)$ нелинейна и выполняются следующие неравенства $\alpha_1 g \leq \zeta(g) \leq \alpha_2 g$, то справедлива следующая оценка эффективности оптимальной системы стимулирования σ^* :

$$\frac{C}{\alpha_2} \leq \mathcal{X}(\sigma^*) \leq \frac{C}{\alpha_1} ,$$

где $C = g \cdot F^0 (f - F(F^0)) / \int z^* dF(z^*)$, а F^0 определяется упомянутым теорема 4.1.

В главе рассмотрен также научно-методический способ организации стимулирования и управления в стохастических АС, позволяющий уче-

личить эффективность функционирования систем. При двухканальном способе используется второй нормативный канал управления для формирования нормативных управляющих параметров U_2 , с помощью которых вычисляются "гибкие" нормативы \bar{Z}_2 , "отслеживающие" случайные изменения внешних воздействий. Показано, что стимулирование с использованием таких нормативов и "рекомендуемых" управлений U_2 второго канала дает возможность при определенных условиях повысить эффективность функционирования стochастических АС. Эти результаты позволили разработать рекомендации по организации стимулирования в АСУП черной металлургии.

В заключении диссертационной работы перечисляются следующие основные результаты, полученные автором:

1. Установлены условия выполнения оптимального плана в активных системах с частичной централизацией планирования. Охарактеризован класс сильно согласованных систем стимулирования, при использовании которых удовлетворяются условия выполнения оптимальных планов.

2. Установлены условия, накладываемые на механизм функционирования, выполнение которых обеспечивает не более чем заданную величину отклонения реализации от оптимального плана.

3. Найдены решения задач синтеза оптимальных механизмов функционирования детерминированных активных систем при полной информированности центра.

4. Установлена связь между решением задачи синтеза оптимального механизма в теории активных систем и решением задачи синтеза оптимальной стратегии первого игрока в игре двух лиц с непротивородными интересами.

5. Показана роль стимулирования производственных процессов

Результаты с практическими механизмами исполнительных органов и соответствующими методами разработки их технической документации заслуживают присуждения Кандидата технических наук МИР - 17 по теме "Договор".

6. Найдена оптимальная система стимулирования при линейной функции затрат и получены оценки эффективности оптимальных систем стимулирования при линейных функциях затрат.

7. Предложен двухканальный способ организации стимулирования производственных процессов и найдены условия его большей эффективности по сравнению с одноканальным способом.

8. Полученные результаты по организации стимулирования использованы при разработке системы стимулирования в человеко-машинных системах управления металлургическими процессами. Результаты внедрены на Карагандинском металлургическом комбинате и подтверждены экономическим эффектом (480 тыс. руб. в год).

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Кондратьев В.В. Трехуровневые активные системы. - В кн.: VI Международный симпозиум "Прикладные проблемы больших систем управления". Сборник реценз. - Приморское изд. Института технической кибернетики БАН, 1977, с. 46.

2. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Кондратьев В.В. Двухуровневые активные системы. IV. Цена централизации механизмов функционирования. - Автоматика и телемеханика, 1980, № 6, с. 110-117.

3. Бурков В.Н., Еналеев А.К. Стимулирование достоверной информации при планировании НИР. - В кн.: Повышение эффективности деятельности НИИ и ПКО. Материалы конференции. - М.: Изд. Московского дома научно-технической пропаганды, 1980, с. 61-65.

4. Еналеев А.К. Согласованное управление активной системой при наличии линейных штрафов за отклонение реализации от плана. - В кн.: Синтез механизмов управления сложными системами. - М.: Изд. Института проблем управления, 1980, с. 55-65.

5. Авдеев В.П. и др. Организационное управление с использованием нормативной модели / Авдеев В.П., Бурков В.Н., Еналеев А.К.,

Кондратьев В.В., Мишляев Л.П. - В кн.: Синтез механизмов управления сложными системами. - М.: Изд. Института проблем управления, 1980, с. 15-23.

6. Бурков В.Н. и др. К развитию человека-машинного взаимодействия в АСУ / Бурков В.Н., Азарев В.П., Мишляев Л.П., Кондратьев В.В., Еналеев А.К. - Известия Вузов. Черная металлургия, 1980, № 4, с.139-143.

Личный вклад в работах [1-3] и [5,6], опубликованных в соавторстве, следующий:

в работе [1] автором предложено описание агрегированной модели АС и постановка задач управления;

в работе [2] автором исследованы правильные механизмы функционирования и получены условия выполнения оптимальных планов;

в работе [3] автором исследованы вопросы выбора величин штрафов при синтезе системы стимулирования;

в работах [5,6] автором показана эффективность двухканального способа организации стимулирования по сравнению с одноканальным.