С.П.Андреев, С.М.Кулаков, Ю.Н.Марченко

ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Анализ процедур получения нормативных характеристик показал, что они не учитывают факторы, связанные с участием людей в производственном процессе. В настоящей работе с позиций теории активных систем рассматривается модель формирования нормативной информации в системе внутризаводского оперативного планирования. При построении модели активной системы и механизма ее функционирования использовалось описание процедур планирования и систем стимулирования, применяемых на металлургических предприятиях. Рассматриваются процедура нормированного распределения плана и система стимулирования, при которой размер материального поощрения за выполнение плана не зависит от размера планового задания.

Назначение заданий и составление расписаний работы участков (цехов) завода проводится на основе нормативных характеристик их функционирования [I,2]. Обычно используются такие характеристики как производительность, продолжительность ремонтных и переналадочных пауз, расходные коэффициенты, доля продукции, не соответствующая заказам и т.п. Производственному отделу завода, который занимается оперативным планированием на предприятии, местные нормативы участков (цехов) полностью неизвестны. Причиной тому может служить сложность производства, широкая номенклатура изделий, изменение условий функционирования производства. Кратко опишем некоторые методы получения планирующим органом информации о характеристиках производственного процесса цехов (нормирование).

В практике используют четыре основных метода нормирования: аналитический, отчетно-статистический, расчетный и опытный (экспертный). Для первых трех необходимо наличие этапа формирования данных о работе производственного участка и этапа обработки данных с целью получения нормативных характеристик или формул для их расчета. Аналитический метод использует сведения о технологическом процессе на данном участке, которые получаются в результате хронометража работы участка. В случае отчетно-статистического метода данные извлекаются из отчетной документации, которую ведет персонал производственного участка. Расчетный метод использует исходные нормативы, которые устанавливаются одним из остальных трех методов, т.е. является вторичным по отношению к ним. Отличающийся высокой оперативностью экспертный метод является наименее строгим, так как оценки нормативов, устанавливаемые специалистом-нормировщиком, могут сильно отличаться от действительных.

Резюмируя сказанное, отметим, что составление планового задания на некоторый плановый период основывается на использовании нормативов, построенных на основе анализа производственной деятельности цехов за прошлые периоды, т.е. адаптивно [3]. Перейдем к формальному описанию рассматриваемой модели.

Завод представим двухуровневой активной системой, состоящей из центра (производственный отдел и дирекция) и n активных элементов (производственные участки). Допустим, что выбран некоторый набор переменных

$$\eta_i = \{\eta_{i1}, \eta_{i2}, \dots, \eta_{ip}\}, \quad i \in I = \{1, 2, \dots, n\},$$

которые характеризуют производственную деятельность элементов. Ими зачастую являются некоторые нормативные характеристики и объем выпускаемой продукции. Из части переменных можно образовать вектор состояний y_i:

$$y_i = \{y_{i1} = \eta_{i1}, y_{i2} = \eta_{i2}, \dots, y_{ip_1} = \eta_{ip_1}\}, \; p_1 < p, \quad i \in I.$$

При функционировании системы элементы выбирают на этапе реализации значение вектора состояний из множества возможных состояний: $y_i \in Y_i$, $i \in I$. Тогда другая часть переменных $\sigma_i = \{\sigma_{i1} = \eta_{i(p_1+1)}, \dots, \sigma_{im} = \eta_{ip}\}$ будет определять известный центру параметрический вид $Y_i(\sigma_i)$, $i \in I$. Центру неизвестно значение τ_i вектор-параметра σ_i, при котором выполнено: $Y_i(\tau_i) = Y_i$, $i \in I$, а известны лишь множества Ω_i : $\tau_i \in \Omega_i$, $i \in I$. Опишем рассматриваемые составляющие механизма функционирования.

Будем полагать, что каждый период функционирования системы, состоящей из трёх этапов (формирование центром данных о моделях элементов, назначение управления $\pi=\{x,\lambda\}$ и этап выбора элементами своих состояний y), соответствует одному месяцу. Заметим, что в рассматриваемом случае цена λ на продукцию назначается министерством и на протяжении длительного времени, как правило, остаётся постоянной. Поэтому, управление ценой не учитываем, то есть $\pi=\{x_i\}$.

Процедура назначения плановых заданий участкам завода осуществляется в два этапа. На первом формируются нормативные характеристики участков, на основе которых определяются их производственные возможности(т.е. восстанавливаются модели ограничений элементов). Это этап формирования данных. На втором этапе на основе восстановленных производственных возможностей участков происходит собственно планирование заданий. Это этап назначения центром управления в активной системе. При отчётно-статистическом методе одни нормативы устанавливаются на основе оценки значений соответствующих параметров персоналом участка (встречный способ формирования данных), а другие путём организации наблюдений за работой участка(адаптивный способ).Таким образом, такой метод соответствует комбинированному способу формирования данных с оператором вида

$$a_{ij}^k=\xi_{ij}(a_{ij}^{k-1},s_i^k,y_i^{k-1}),\quad j=m_1+1,\dots,m\ ;\ i\in I. \qquad (1)$$

Здесь $S_i^k=\{s_{i1}^k,s_{i2}^k,\dots,s_{im}^k\}$, k - номер периода функционирования. По этим оценкам $\sigma_i^k=\{s_i^k,a_i^k\}$, $i\in I$ центром строятся оценочные множества возможных состояний элементов: $Y_i^k=Y_i(\sigma_i^k)$, $i\in I$.

Интересы центра и элементов определяются материальными, моральными и прочими факторами. За целевые функции мы примем заработную плату, определяемую планом и результатом его выполнения: $f_i(x_i,y_i)$, $i\in I$ для элементов и $\Phi(x,y)$ для центра.

Возможности выбора элементами своих состояний y_i^k и встречных оценок S_i^k могут быть ограничены назначением центром ограничений $B_i^k=B_i(x_i^k)$ и $\Omega_i^k=\Omega_i(S_i^{k-1})$:

$$y_i^k \in B_i(x_i^k) \bigcap Y_i(\tau_i) \quad , \quad s_i^k \in \Omega_i(s_i^{k-1}) \bigcap \Omega_i \quad , \quad i \in I ,$$

что соответствует введению в целевые функции элементов сильных штрафов за нарушение этих условий. На практике под сильными штрафами подразумеваются жесткие административные меры (например, выговора, смещение с должности, увольнения и т.п.).

Построенная по правилу (I) оценка $a^k = \{a_i^k\}$ через план входит в целевые функции элементов в отдельном периоде: $f_i(x_i^k, y_i^k) = f_i(x_i(s^k, \xi(a^{k-1}, s^k, y^{k-1})), y_i^k)$,

где обозначено $\xi(a^{k-1}, s^k, y^{k-1}) = \{\xi_i(a_i^{k-1}, s_i^k, y_i^{k-1})\}$.

Следовательно, от выбора элементами стратегий s^{k-1} и y^{k-1} в периоде функционирования с номером ($k-1$) зависит значение их целевых функций в последующие периоды. Учет элементами последствий принимаемых решений можно отразить по-разному [3] . Предположим, что элементы стремятся оптимизировать свой суммарный выигрыш за ряд периодов. Тогда критерий эффективности i-го активного элемента в k-м периоде примем в виде

$$W_i^k = f_i(x_i(s^k, \xi(s^k), y_i^k) + \sum_{q=k+1}^{k+N_i} f_i(x_i(s^q, \xi(a^{q-1}, s^q, y^{q-1})), y_i^q),$$
$$s_i^q \in \Omega_i(s_i^{q-1}) \bigcap \Omega_i, \qquad (2)$$
$$y_i^q \in B_i(s^q, \xi(a^{q-1}, s^q, y^{q-1})) \bigcap Y_i(\tau_i).$$

Нахождение элементом стратегий s_i^k и y_i^k происходит в условиях незнания стратегий $s^k(i)$, $y^k(i)$ и s^q, y^q , $q = k+1, k+2, \ldots, k+N_i$. Применяя к своему критерию эффективности (2) правило Π_i устранения этой неопределенности, элемент переходит к критерию $\widetilde{W}^k$:

$W_i^k \xrightarrow{\Pi_i} \widetilde{W}_i^k$ с известными стратегиями $\alpha_i(s)$ первого хода и $\beta_i(y)$ второго хода [3,4] . Аналогично [4] можно определить множество равновесных решений игры элементов. Множество ситуаций $R_{(s,y)}(\tau, N)$ будет множеством равновесных решений игры элементов нижнего уровня после установления центром механизма функционирования с комбинированным способом формирования данных, если для $\forall(\hat{s},\hat{y})\in R_{(s,y)}(\tau,N)$ выполнены:

$$\tilde{\varphi}_i^{\Sigma}(x_i(\hat{s}_i,\alpha_i(s),\xi(\hat{s}_i,\alpha_i(s),\hat{y})),\beta_i(y))=$$
$$=\max_{s_i\in\Omega_i\cap\Omega_i(\hat{s}_i)}\tilde{\varphi}_i^{\Sigma}(x_i(s_i,\alpha_i(s),\xi(s_i,\alpha_i(s),\hat{y})),\beta_i(y)),\tag{3}$$
$$\tilde{f}_i^{\Sigma}(x_i(\hat{s},\xi(\hat{s},\hat{y})),\alpha_i(s),\beta_i(y),\hat{y}_i,N_i)=$$
$$=\max_{y_i\in B_i(\hat{s},\xi(\hat{s},\hat{y}))\cap Y_i(\tau_i)}\tilde{f}_i^{\Sigma}(x_i(\hat{s},\xi(\hat{s},\hat{y})),\alpha_i(s),\beta_i(y),y_i,N_i).$$

Зная принципы Π_i, $i\in I$ рационального выбора стратегий центр может построить множество $R_{(s,y)}(\tau,N)$ и решать задачу анализа механизма функционирования Σ на этом множестве:

$$K(\Sigma)=\min_{N}\min_{\tau}\min_{(\hat{s},\hat{y})\in R_{(s,y)}(\tau,N)}\Phi(x(\hat{s},\hat{y}),\hat{y}).\tag{4}$$

Незнание центром степени дальновидности $N-\{N_i\}$ элементов может ухудшить значение критерия эффективности центра и сильно усложнить построение оценки (4). Во избежание этого в [3] предлагалось синтезировать прогрессивные механизмы функционирования, не приводящие к зависимости множества равновесных решений от степени дальновидности элементов, при этом равновесное решение достигается за один период.

Будем предполагать, что состояние i-го элемента центр описывает с помощью показателя объема выпускаемой элементом продукции y_i (скаляр): $y_i\in Y_i(\tau_i)$, где $Y_i(\tau_i)$ - множество возможных выпусков, τ_i - неизвестные центру параметры, для которых формируются нормативы $\sigma_i=\{s_i,a_i\}$.

Из вышестоящих плановых органов в центр поступает директивное плановое задание x_0^k по выпуску продукции всей системой, назначаемое по правилу "от достигнутого"

$$x_0^k=\max(x_0^{k-1},\sum_{i=1}^{n}y_i^{k-1}).$$

Центр распределяет это задание между элементами по закону

$$x_i^k = \frac{x_0^k \max\limits_{y_i \in Y_i(s_i^k, a_i^k)} y_i}{\sum\limits_{j=1}^{n} \max\limits_{y_j \in Y_j(s_j^k, a_j^k)} y_j} = x_0^k \cdot \gamma_i^k . \tag{5}$$

В этой процедуре коэффициент γ_i^k, показывающий какую долю продукции от x_0^k должен выпустить i-й элемент, устанавливается нормированием по максимально возможному выпуску элементов. Такой закон планирования определяет необходимость равномерной загрузки производственных мощностей. Естественно считать, что отклонение от равномерной загрузки элементов приводит к потерям в системе. Введем функцию потерь

$$\varphi(s,a,\tau) = \begin{cases} 0 & , \text{если } (s,a) = \tau , \\ g(s,a,\tau) > 0, & \text{если } (s,a) \neq \tau . \end{cases}$$

Примем также, что производственный отдел и дирекция материально заинтерисованы в выполнении заводом директивных планов. С учетом сказанного целевую функцию центра представим в виде

$$\Phi(y^k) = d_0 + \beta d_0 1\left[\sum_{i=1}^{n} y_i^k - x_0^k\right] - \varphi(s,a,\tau) .$$

Здесь $1[Z] = 1$, если $z \geq 0$ и $1[z] = 0$, если $z < 0$. Составляющая $\beta d_0 1\left[\sum_{i=1}^{n} y_i^k - x_0^k\right]$ представляет собой премию за выполнение плана; d_0 - постоянная составляющая (оклад); β - коэффициент $(0 < \beta < 1)$. И еще одно обстоятельство говорит в пользу такого представления целевой функции центра: на практике дирекция несет ответственность за выход завода на некоторую заданную проектную мощность $\tilde{x} > x_0^1$.

Что касается активных элементов, то их целевые функции представим в виде

$$f_i(x_i^k, y_i^k) = d_i + \alpha d_i 1\left[y_i^k - x_i^k\right] . \tag{6}$$

Здесь d_i - постоянная составляющая фонда заработной платы производственного участка, а величина $\alpha d_i 1[y_i^k - x_i^k]$ – премия за выполнение плана, где α – коэффициент $(0<\alpha<1)$. Из (6) следует, что при любом реализуемом плане x_i^k для разных состояний $y_i^k \geq x_i^k$, значения целевой функции совпадают, то есть для элемента выбор состояния может быть неоднозначен. Разумно ввести гипотезу: из множества рациональных стратегий, на котором выигрыш элемента имеет одно и то же значение, элемент выбирает минимальное состояние. Правдоподобность этой гипотезы поведения элемента следует из того, что увеличение объема выпуска продукции сопровождается возрастанием интенсивности трудозатрат, что в явном виде не учитывается в (6).

Проведем анализ функционирования системы с использованием центром отчетно-статистического метода нормирования при составлении плановых заданий элементам.

При отчетно-статистическом методе нормирования множество Y_i возможных выпусков имеет вид

$$Y_i(\tau_{i1}, \tau_{i2}) = \left\{ y_i \mid 0 \leq y_i \leq \tau_{i1}\left(T - \frac{1}{\tau_{i2}}\right) \right\}, \qquad (7)$$

где τ_{i1} – максимальная производительность элемента; τ_{i2} – величина, обратная минимальному времени ремонта и переналадки за плановый период T; $\left(T - \frac{1}{\tau_{i2}}\right)$ – "чистое" время работы элемента.

Оценка s_{i1}^k параметра τ_{i1} получается встречным способом, а оценка a_{i2}^k параметра τ_{i2} – адаптивным:

$$a_{i2}^k = max\left(a_{i2}^{k-1}, \frac{s_{i1}^k}{s_{i1}^k T - y_i^{k-1}}\right). \qquad (8)$$

На выбор оценок $s_1^k = \{s_{i1}^k\}$ центр устанавливает дополнительные ограничения $\Omega_{i1}^k = \{s_{i1}^k \mid s_{i1}^k \geq y_i^{k-1}/T\}$, т.е. $s_{i1}^k \in \Omega_{i1} \cap \Omega_{i1}^k, i \in I$. По оценкам $\sigma_i^k = \{s_{i1}^k, a_{i1}^k\}$ строятся оценочные множества

$$Y_i(\sigma_i^k) = \left\{ y_i^k \mid 0 \leq y_i^k \leq s_{i1}^k\left(T - \frac{1}{a_{i2}^k}\right) \right\}.$$

Критерий эффективности дальновидного элемента ($N_i>0$) в первом периоде определим аналогично (2). Учитывая конкретный вид целевой функции элемента (6), оператора комбинированного способа формирования данных (8), закона управления (5) и параметрического вида множеств возможных состояний (7), после проведения несложных преобразований имеем:

$$W_i^1=(N_i+1)d_i+\alpha d_i 1\left[y_i^1-x_i^1\right]+$$

$$+\alpha d_i\sum_{q=2}^{N_i+1}1\left[y_i^q-\max\left(x_0^{q-1},\sum_{j=1}^{n}y_j^{q-1}\right)\cdot\frac{\max\limits_{k\in Q(q)}\{S_{i1}^k\}\dfrac{\max\limits_{k\in Q(q-1)}\{y_i^k\}}{\min\limits_{k\in Q(q)}\{S_{i1}^k\}}}{\sum\limits_{j=1}^{n}\max\limits_{k\in Q(q)}\{S_{j1}^k\}\dfrac{\max\limits_{k\in Q(q-1)}\{y_j^k\}}{\min\limits_{k\in Q(q)}\{S_{j1}^k\}}}\right], \qquad (9)$$

$$S_{i1}^q\in\left\{s_{i1}\,\middle|\,s_{i1}\geq\frac{y_i^{q-1}}{T}\right\},\; y_i^q\in\left\{y_i\,\middle|\,0\leq y_i\leq r_{i1}\left(T-\frac{1}{r_{i2}}\right)\right\},\; Q(p)=\{1,2,\dots,p\}.$$

Определим множество равновесных решений. При любом правиле устранения i-м элементом неопределенности в (9), связанной с незнанием стратегий других элементов, множество абсолютно оптимальных состояний i-го элемента есть $y_i^1\geq x_i^1$. Однако из выражения (9) видно, что перевыполнение плана x_i^1 и рост встречных оценок S_{i1}^q, $q=1,2,\dots,1+N_i$ может привести к увеличению планового задания в последующих периодах. Тогда, учитывая принятую гипотезу поведения активных элементов при выборе своей стратегии из множества рациональных стратегий, заключаем, что, строго выполнив план и сообщив заниженную оценку в первом периоде, i-й элемент будет заинтересован и в дальнейшем придерживаться этих стратегий. Итак, множество равновесных решений есть

$$R_{(s,y)}(r,N)=\prod_{i\in I}\left\{\hat{S}_{i1},\hat{y}_i\,\middle|\,\hat{s}_{i1}=\max\left(\min_{s_{i1}\in\Omega_{i1}}s_{i1},\frac{x_i^1}{T}\right),\hat{y}_i=x_i^1\right\}.$$

Следовательно, элементы будут заинтересованы занижать оценку производительности и выпускать продукцию в объеме много меньшем максимально допустимого. Другими словами, значительные производственные возможности останутся скрытыми. Определяемая из (4) оценка критерия эффективности механизма функционирования с принятой целевой функцией центра будет низкой.

Ситуация будет иной, если рассматриваемый механизм функционирования изменить так, чтобы он стал прогрессивным. Дадим определение прогрессивного механизма функционирования и применительно к нашей модели оценим его критерий эффективности. Пусть для множеств $Y_i(\tau_i)$, $i\in I$ выполнено следующее условие:

$$\forall \tau_i^1, \tau_i^2 \in \Omega_i, \tau_i^1 < \tau_i^2 : Y_i(\tau_i^1) \subset Y_i(\tau_i^2). \tag{10}$$

Запись $\tau_i^1 < \tau_i^2$ понимается в смысле: $\tau_i^1 \neq \tau_i^2$, $\forall j : \tau_{ij}^1 \leq \tau_{ij}^2$.

Механизм функционирования будем называть прогрессивным, если для целевых функций элементов выполнены:

$$\begin{gathered}\forall i : \forall \sigma_i^1, \sigma_i^2 \in \Omega_i, \sigma_i^1 < \sigma_i^2, \forall \tau_i \in \Omega_i, \forall \sigma(i), \forall y_i \in Y_i(\tau_i): \\ f_i(x_i(\sigma(i), \sigma_i^2), y_i) > f_i(x_i(\sigma(i), \sigma_i^1), y_i), \\ \forall x_i, \forall y_i^1 < y_i^2 \in Y_i(\tau_i): \\ f_i(x_i, y_i^2) > f_i(x_i, y_i^1).\end{gathered} \tag{11}$$

Здесь $\sigma(i) = \{\sigma_1, \ldots, \sigma_{i-1}, \sigma_{i+1}, \ldots, \sigma_n\}$.

Для рассматриваемого выше механизма функционирования введем в целевые функции элементов слагаемые вида $\Delta\sigma_i^k = d_i(\mu_i^1 s_{i1}^k + \mu_i^2 a_{i2}^k)$, $0 < \mu_i^1, \mu_i^2 < 1$. Для множеств $Y_i(\tau_{i1}, \tau_{i2})$, $i\in I$ условия (10) выполнены. Такой механизм функционирования удовлетворяет теперь условию прогрессивности (11). Нетрудно показать, что теперь каждый элемент в первом же периоде функционирования оптимизируя критерий эффективности (9), при любых стратегиях других элементов выберет $\hat{s}_{i1} = \tau_{i1}$, $\hat{y}_i = \max\limits_{y_i \in Y_i(\tau_{i1}, \tau_{i2})} y_i$. При этом функционирование системы будет уже абсолютно оптимальным.

Используя аналитический метод нормирования центр в каждом периоде функционирования располагает достоверной информацией о фактической производительности элементов в предыдущем периоде. Поэтому по сравнению с отчетно-статистическим методом нормирования в данном случае вектор состояний состоит из двух компонент $y_i^k=(y_{i1}^k, y_{i2}^k)$, выбор элементом которого трактуется как выпуск продукции в объеме y_{i1}^k с производительностью y_{i2}^k. Множество возможных состояний i-го элемента можно представить в виде

$$Y_i(\gamma_i)=Y_{i2}\times\{y_i \mid 0\le y_i\le (\max_{y_{i2}\in Y_{i2}} y_{i2})(T-\frac{1}{\gamma_i})\},\quad i\in I,$$

где Y_{i2} интервал, из которого элемент выбирает скаляр y_{i2}^k. Параметр $\gamma_i = 1/\tau_{min}$ является величиной, обратной минимально возможному времени ремонта и переналадки за плановый период продолжительностью T, тогда $(T-1/\gamma_i)$ определяет максимально возможное время работы i-го элемента. Зная выбираемый элементом вектор состояний центр строит оценку параметра γ_i, то есть использует адаптивный способ формирования данных с оператором

$$a_i^k = \max(a_i^{k-1}, \frac{y_{i2}^{k-1}}{y_{i2}^{k-1}\cdot T - y_{i1}^{k-1}}).$$

Пусть центром планируются обе компоненты вектора состояний каждого элемента, но целевые функции элементов зависят только от планового значения x_{i1}^k первой компоненты, причем, определяются выражением (6) после замены y_i^k и x_i^k соответственно на y_{i1}^k и x_{i1}^k. На выбор состояния y_{i2}^k центр устанавливает ограничения $B_i(y_{i2}^{k-1})=\{y_{i2} \mid y_{i2}\ge y_{i2}^{k-1}\}$.

Проведя аналогичные предыдущему случаю рассуждения, находим равновесное решение

$$\hat{y}_{i1}=x_{i1}^1,\quad \hat{y}_{i2}=\frac{x_{i1}^1}{T-1/\max_{a_i\in\Omega_i} a_i},$$

которое достигается за один период функционирования. При таких равновесных стратегиях элементов критерий эффективности механизма функционирования может иметь малое значение и функционирование системы будет неоптимальным.

З а к л ю ч е н и е

В настоящей работе сделана попытка анализа реального производства с позиций теории активных систем. И хотя построенная модель несколько упрощена и не претендует на полную адекватность действительности, она качественно правильно отражает основные моменты хозяйственного механизма.

Показано, что предшествующий составлению плановых заданий производственным участкам процесс построения нормативных характеристик соответствует этапу формирования центром данных о моделях активных элементов. Незнание центром вектор- параметров r_i, $i \in I$ в параметрических представлениях множеств возможных состояний элементов $Y_i(r_i)$, $i \in I$ отражает факт отсутствия у производственного отдела завода информации о значениях нормативов технологического процесса производства. Использование отчетно-статистического и аналитического методов нормирования порождает классы механизмов функционирования активных систем с комбинированным и адаптивным способами формирования данных соответственно. При анализе таких механизмов функционирования критерий эффективности (4) определяется на множестве равновесных решений (3). Рассмотрев систему стимулирования за выполнение плана, при которой материальное поощрение не зависит от размера планового задания, и закон назначения планов по правилу "от достигнутого" установили, что в этом случае производственные участки будут заинтересованы работать с малой производительностью и выпускать продукцию в объеме много меньшем максимально возможного.

Отметим, что нами учитывалась в основном лишь материальная заинтересованность людей, занятых в производстве. Такие факторы как моральные, психологические, случайные остались вне рамок обсуждения. Далее на предприятиях ввиду нестационарности производственных процессов и непрерывного развития нормативы могут меняться. При планировании важно учесть характеристики производственной ситуации, сложившейся к началу очередного планового периода. Следовательно, параметры моделей элементов и множества возможных состояний могут изменяться от периода к периоду. Исследование таких динамических моделей представляет собой самостоятельную проблему.

Литература

1. Кулаков С.М., Зимин В.В., Курильщикова Г.И. Формирование нормативных характеристик производственных элементов активной системы. В кн. : Труды IУ Всесоюзного совещания "Статистические методы теории управления". М.,"Наука", 1978
2. Кулаков С.М., Зимин В.В., Курильщикова Г.И. Формирование нормативной информации в системе оперативного планирования. Известия вузов. Серия "Черная металлургия", 1978, №2.
3. Бурков В.Н. Математические основы теории активных систем. М., "Наука", 1977
4. Андреев С.П., Кондратьев В.В. Анализ механизмов функционирования в активных системах со связанными периодами функционирования. Труды МФТИ, Сер. Радиотехника и электроника. М., 1978.