

УДК 330.115

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПЛАНИРОВАНИЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. М. Кауров

§1. Введение

В данной статье рассматриваются вопросы математического моделирования планирования строительного производства. Современное строительное производство характеризуется большой степенью кооперации и специализации, которые способствуют дальнейшему повышению производительности труда. Однако участие в процессе строительства многочисленных специализированных организаций, сложность системы материально-технического снабжения, многочисленные производственные связи резко повысили требования к планированию и управлению строительством. В последнее время ЦК КПСС и Советом Министров СССР принят ряд постановлений, направленных на коренное улучшение этих факторов [1,2]. Мероприятия, осуществляемые согласно этим постановлениям, направлены на усиленные роли экономических методов и стимулов в управлении строительством, коренное улучшение системы государственного планирования, сочетание централизованного отраслевого управления с расширением прав местных органов, расширение самостоятельности строительных организаций и повышение ответственности и материальной заинтересованности производственных коллективов и работников строительства в результате их деятельности.

В центре внимания хозяйственников находится проблема повышения реальности планов строительно-монтажных работ. Охарактеризуем основные факторы, которые необходимо учитывать при составлении плана любого уровня.

1) Сбалансированность плана по материальным ресурсам, объемам работ и срокам ввода в эксплуатацию особо важных объектов.

2) Устойчивость плана к различным возможным возмущениям (изменениям технологии и условий труда, сбоям в поставках материальных ресурсов и т.д.).

3) Согласованность интересов в плане. Необходимо учитывать интересы всех отдельных звеньев управления. Непосредственные исполнители должны быть заинтересованы в его выполнении.

4) Обоснованность заложенных в план нормативов.

К настоящему времени разработан ряд систем календарного планирования производства строительно-монтажных работ [3]. Как правило, в основе этих систем лежат эвристические алгоритмы распределения ограниченных ресурсов на сетевой модели. Основным недостатком данных систем является детерминизм заложенных в их основу алгоритмов. Они работают по принципу "черного ящика": ввод огромного объема информации на входе, календарные планы производства строительно-монтажных работ на выходе. Это затрудняет решение задачи в режиме диалога, в частности - "подправление" полученного решения. План любого уровня должен быть результатом некоторого итерационного процесса с привлечением к его составлению всех функциональных подразделений строительной организации. Каждое из них оценивает определенный фрагмент плана - те показатели, за которые несет ответственность. Например, руководитель организации рассматривает план с точки зрения особо важных показателей, бухгалтерия отвечает за финансовые показатели, а конкретный рабочий оценивает свою заработную плату и условия труда. Т.е., на наш взгляд, система календарного планирования должна основываться на широком использовании диалоговых "человеко-машинных" методов, применяемых в комплексе с формальными. Руководители-пользователи должны иметь достаточные средства для активного творческого участия в формировании планов, их оценке, сравнении и корректировке в желаемом направлении. План должен составляться в результате итерационного процесса путем постепенного его улучшения. Сначала необходимо найти "грубый" план, т.е. удовлетворяющий основным требованиям, а затем постепенно улучшать его в соответствии с возможностями все более низких звеньев управления. И наконец, система должна содержать широкий набор алгоритмов и основываться на модульном принципе, что способствует легкому ее усовершенствованию и быстрой адаптации к новым задачам управления и планирования [4].

§2. Система моделей календарного планирования

В данном параграфе дается общее описание системы моделей календарного планирования, реализующей указанные выше принципы. Система предназначена для решения задач планирования деятельности строительного предприятия. Под термином "строительное предприятие" мы будем понимать строительно-монтажный трест и приравненные к нему строительные организации.

Предлагаемая система состоит из трех уровней, отвечающих основным звеньям управления строительного предприятия.

1. Верхний уровень соответствует предприятию в целом. На этом уровне составляются 5-летний и 2-годовой планы, определяющие важнейшие направления развития и деятельности строительного предприятия в целом. Они необходимы для своевременной подготовки к строительству: создания или расширения производственной базы строительства, установления связей с поставщиками и субподрядными строительными организациями (размещение заказов на материалы, оборудование и проведение специализированных работ).

Исходные данные для составления этих планов — контрольные цифры, установленные вышестоящим органом (для 2-годового плана это могут быть основные показатели 5-летнего), титульные списки строек, проектно-сметная документация, внутристроечные титульные списки для 2-годового и данные прогнозирования развития района деятельности строительного предприятия для 5-летнего планов, общесоюзные, ведомственные и местные нормы и нормативы. В случае отсутствия в момент составления проекта 5-летнего плана части проектно-сметной документации можно использовать данные проектов строительства аналогичных объектов.

Разделим все рассчитываемые показатели данных планов на 2 группы. К первой отнесем: а) перечень особо важных объектов с указанием их производственных мощностей и сроков ввода в действие; б) распределение остального объема по видам строительства для 5-летнего и перечень остальных строящихся объектов с их сроками для 2-годовых планов; в) объем строительно-монтажных работ (с распределением их по субподрядчикам); г) общий фонд заработной платы и темпы роста производительности труда; д) сумма балансовой прибыли и фонд экономического стимулирования; объемы собственного капитального строительства и задания по внедрению новой техники.

Эти показатели утверждаются вышестоящей организацией (главком, министерством или Госпланом СССР), при этом они либо используются в качестве ограничений в алгоритмах, либо относятся к особо важным требованиям на составляемый план и их уровень контролируется управляющим строительным предприятием.

Остальные показатели планируются строительным предприятием самостоятельно. Их число в 5-летнем плане значительно меньше, чем в 2-годовалом, и рассчитываются они с большей степенью округления. Желаемый уровень этих показателей контролируется соответствующими отделами строительного предприятия.

Эти два плана отличаются только степенью подробности исходной информации и числом неосновных показателей. Поэтому для моделирования процесса их составления используются одни и те же принципы, разрабатываются аналогичные алгоритмы.

План данного уровня находится в результате итерационного взаимодействия модели "Составление плана предприятия" и модели "Оценка плана предприятия". Исходя из контрольных цифр вышестоящей организации и ограниченных мощностей предприятия решается задача составления допустимой производственной программы на планируемый период (выбор из "портфеля заказов" набора объектов или их этапов со сроками строительства). Во второй модели рассчитываются остальные показатели плана. Затем отделы строительного предприятия оценивают эти показатели, т.е. их отклонения от желаемых уровней, и предлагают возможное направление изменения плана.

2. Средний уровень системы соответствует производственно-техническим, комплектиющим и специализированным подразделениям строительного предприятия. Здесь конкретизируются показатели первого года 2-годовалого плана: разрабатывается развернутая программа производственно-хозяйственной и финансовой деятельности (стройфинплан) подразделений строительного предприятия. Стройфинплан необходим для определения конкретных путей и средств выполнения установленных годовым планом заданий по вводу в действие объектов, уточнения потребности в материально-технических, трудовых и финансовых ресурсах.

Исходными данными для составления стройфинплана являются цифры годового: техническая документация по объектам или их этапам, включенным в годовой план.

К числу основных показателей плана строительных подразделений предприятия отнесем те, которые утверждаются вышестоящим

органом управления (они либо включаются в качестве ограничений в алгоритмах, либо контролируются начальником подразделений): а) перечень объектов или их этапов, заканчиваемых в плановом периоде, со сроками их ввода; б) объемы строительно-монтажных работ; в) годовой фонд заработной платы и темпы роста производительности труда; г) прибыль, платежи в бюджет и ассигнования из него; д) задания по собственному капитальному строительству и внедрению новой техники; е) объемы поставок материалов, механизмов и других ресурсов.

Остальные показатели планов строительных подразделений определяются ими самостоятельно и контролируются их соответствующими отделами. Планы строительных подразделений должны быть увязаны с планами не строительных (управлениями производственно-технологической комплектации, транспортного хозяйства и подсобных предприятий), разрабатываемыми по установленным для них формам и показателям.

План данного уровня также является результатом итерационного процесса. Сначала в модели "Составление стройфинплана" решается задача распределения производственной программы годового плана между подразделениями строительного предприятия в зависимости от их возможности и специализации. Затем в модели "Оценка стройфинплана" рассчитываются остальные показатели плана подразделений. Уровень этих показателей оценивается соответствующими отделами, намечается желаемое направление корректировки плана. После этого план подправляется в первой модели, рассчитываются его новые показатели и т.д.

3. Нижний уровень системы соответствует укрупненным бригадам. Для них разрабатываются оперативные планы. Исходя из показателей планов строительных подразделений составляются календарные планы производства строительно-монтажных работ по бригадам и объектам. Оперативные планы создают основу для организации систематического контроля за состоянием деятельности отдельных участков строительного предприятия, для своевременного выявления недостатков и принятия мер к их устранению.

Исходными данными для этих планов являются задания по завершению отдельных этапов строительства, данные о состоянии работ на начало планового периода и по обеспечению их материально-техническими ресурсами. Обслуживающие хозяйства составляют оперативные планы исходя из потребностей в конструкциях, деталях, полуфабрикатах и услугах для выполнения строительно-мон-

тажных работ.

Основные показатели оперативных планов: а) ввод в действие производственных мощностей и объектов строительства; б) объем строительно-монтажных работ в натуральном и стоимостном выражении; в) среднесписочная численность работников; г) выработка на одного работника; д) фонд заработной платы; е) материально-технические ресурсы, необходимые для выполнения плана.

Отметим тот факт, что оперативные планы носят исполнительный характер и выполнение их обязательно. Но сначала необходимо проверить реальность выполнения того или иного задания. Задача данного уровня как раз и состоит в проверке выполнимости составленного на верхних уровнях плана. Здесь система представлена моделью, имитирующей процесс принятия решений мастером: распределение ограниченных ресурсов (главным образом, трудовых) между технологически выполняемыми работами. Исходные данные — укрупненные сетевые модели по объектам или их этапам и контрольные цифры вышестоящей управляющей организации.

Основная цель модели данного уровня состоит в нахождении: а) календарных графиков выполнения работ по каждому объекту или его этапу с привязкой к исполнителям; б) графика движения бригад и механизмов по объектам; г) графика поставок деталей, конструкций и полуфабрикатов по каждому объекту или этапу. Также по каждой бригаде рассчитываются такие показатели, как объемы строительно-монтажных работ в натуральном выражении, выработка на одного работника и фонд заработной платы. При этом оценивается уровень удовлетворенности условиями труда каждым работником [5].

Структура системы моделей календарного планирования и взаимодействие ее блоков представлена на рис. 1.

Взаимодействие моделей системы происходит следующим образом. При решении задачи каждого из трех уровней может быть два исхода. В первом случае, когда найдено удовлетворяющее всем требованиям данного уровня решение, спускаемся на следующий уровень. Во втором случае выявляются основные причины, по которым невозможно составить компромиссный план. В этом случае мы возвращаемся на более высокий уровень системы и корректируем план с учетом новых требований.

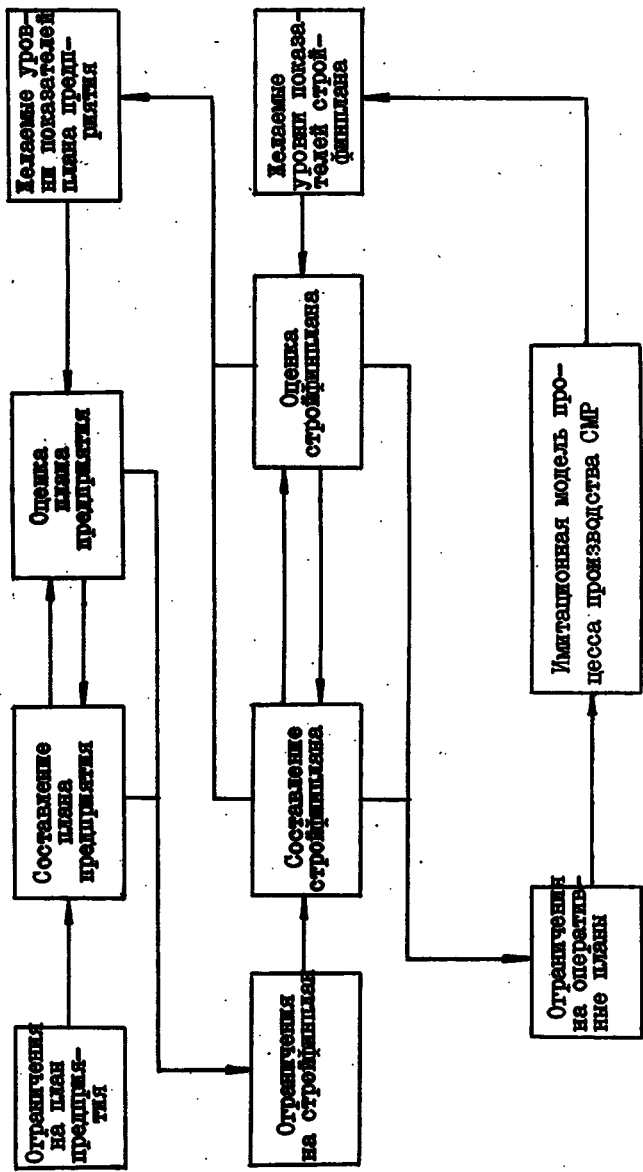


Рис. 1. Схема взаимодействия моделей системы

§3. Машинная реализация модели верхнего уровня системы

Поставим задачу верхнего уровня и опишем алгоритмы, с помощью которых она решается. Рассмотрим процесс составления 2-годичного плана строительного предприятия в целом.

Пусть K - число интервалов времени в рассматриваемом плановом периоде (например, кварталов), M - мощности строительного предприятия, N - объекты, входящие в "портфель заказов" предприятия в данном плановом периоде и I - рассматриваемые показатели плана.

Исходная информация представлена следующими массивами.

$R_m(t_k)$ - наличие у строительного предприятия мощности вида m в интервале времени $[t_{k-1}, t_k]$, $m=1, 2, \dots, M$, $k=1, 2, \dots, K$.
 $T_{\min}^n, T_{\text{ном.}}^n, T_{\max}^n$ - соответственно минимальная, нормативная и максимальная технологически возможные продолжительности строительства объекта с номером n , $n=1, 2, \dots, N$.

$T_{\text{дир.}}^n$ - директивный срок строительства объекта с номером n . Если директивный срок не установлен, то считаем его равным большому числу.

$Z_T^{n,m}(t_k)$ - затраты мощности вида m на строительство объекта с номером n за интервал времени $[t_{k-1}, t_k]$ при длительности строительства T .

$V_T^n(t_k)$ - объем строительно-монтажных работ по объекту с номером n за интервал времени $[t_{k-1}, t_k]$ при длительности строительства T .

$W(t_k)$ - установленные вышестоящей организацией объемы строительно-монтажных работ по годам (т.е. $l=4$ и $l=8$).

a_i - желаемый уровень i показателя, $i=1, 2, \dots, I$. Считается, что известны методики расчетов всех показателей при заданной производственной программе.

Под термином "желаемый уровень показателя плана" понимается не только алгебраическое неравенство, т.е. чтобы значение данного показателя было не меньше или не больше заранее заданной величины a_i , но и часто трудноформализуемые требования к составляемому плану. К ним, например, относятся равномерное использование какого-то материального ресурса и время окончания строительства школы. Если школу строить, то имеет смысл сдать ее в эксплуатацию к началу учебного года, а не к 1-му января. В дальнейшем будет использоваться формальная запись

$y^i \geq a^i$, где y^i - уровень показателя i данного плана.

Задача верхнего уровня планирования в общем виде такова.

Найти векторы сроков начал $X = (X^1, X^2, \dots, X^N)$ и длительностей строительства объектов $Y = (Y^1, Y^2, \dots, Y^N)$, где

$$\sum_{m,k} |R^m(t_k) - \sum_n x_{Y^n}^{m,n} (t_k - X^n)| \leq \delta \quad (1)$$

- сбалансированность по мощностям,

$$T_{MIN}^n \leq Y^n \leq T_{MAX}^n \quad (2)$$

- ограничения на длительности строительства объектов;

$$X^n + Y^n \leq T_{\Delta MP}^n \quad (3)$$

- ограничения на сроки начал строительства объектов;

$$\sum_{k=1}^{\ell} \sum_n V_{Y^n}^n (t_k - X^n) \geq W(t_\ell), \ell = 4, 8 \quad (4)$$

- ограничения на объемы строительно-монтажных работ по годам;

$$y^i(X, Y) \geq a_i \quad (5)$$

- ограничения на уровни показателей плана.

Необходимо отметить, что смысл вектора Y состоит в том, что на данном уровне планирования мы имеем дело не с фиксированными затратами мощностей при строительстве того или иного объекта, а с возможными планируемыми затратами, т.е. можно только предполагать, что затраты будут близки к данным.

Для решения данной задачи предлагается итерационный процесс постепенного улучшения получаемого плана.

Поставим в соответствие каждому объекту вещественное число π^n , $\sum_n \pi^n = 1$ и $\pi^n \geq 0$. Под π^n будем понимать важность объекта с номером n , т.е. чем важнее объект (чем больше π^n), тем раньше будет рассматриваться возможность его строительства (тем меньше X^n).

Пусть A_1 - алгоритм, при реализации которого при заданном векторе $\pi_s = (\pi_s^1, \pi_s^2, \dots, \pi_s^N)$ находятся векторы X_s и Y_s , удовлетворяющие ограничениям (1)-(4), т.е. $(X_s, Y_s) = A_1(\pi_s)$, где s - номер итерации. A_2 - алгоритм, рассчитывающий в зависимости от Δy^i , где $\Delta y^i(X_s, Y_s) = y^i(X_s, Y_s) - a^i$, направление улучшения решения, т.е. $\Delta \pi_s = A_2(y(X_s, Y_s))$. Тогда итерационный процесс заключается в последовательном применении алгоритмов A_1 и A_2 начиная с произвольного вектора π_0 .

Приведем конкретные варианты машинной реализации алгоритмов. В основу алгоритма A_1 положен метод случайного поиска с

обучением. Основные этапы каждой итерации заключаются в следующем.

1) Случайным образом генерируются изменения векторов X_{j-1} и Y_{j-1} . Вероятности того, что начало строительства объекта с номером n будет уменьшено, оставлено без изменения или увеличено, равны \mathcal{P}_3^n , $(1-\mathcal{P}_3^n)/2$ и $(1-\mathcal{P}_3^n)/2$ соответственно. Вероятности для Y_{j-1}^n равны 0,3, 0,4, 0,3.

2) Проверяется выполнение ограничений (2)-(4) при новых векторах X_j и Y_j .

3) Проверяется уменьшение суммарных отклонений затрат мощностей от их наличия (левая часть ограничения (I)).

4) Счет заканчивается либо при выполнении ограничения (I), либо при превышении заранее заданного числа итераций.

Алгоритм A_2 представлен набором модулей, каждый из которых отвечает одному показателю. Один из возможных вариантов реализации этих модулей покажем на следующем упрощенном примере.

Пусть затраты какого-то материального ресурса по годам получились равными 500 и 650 единицам.

Соответствующий отдел хотел бы, чтобы они были равны 550 и 550 единицам, т.е. отклонения от желаемых уровней затрат равны 50 и -100 соответственно. Также известно, что затраты данного ресурса на единицу приведенной мощности равны 10 и 5 единицам соответственно для 1-го и 3-го объектов (первый год) и 7, 3 и 8 для 1, 2, и 4-го объектов (второй год).

Пусть в первый год строились объекты с номерами 1 и 3, а во второй - 1, 2 и 4 (всего объектов 4). Средние затраты по 1 и 3-му объектам равны 7,5, а по 1, 2 и 4-му - 6. Тогда $\Delta \mathcal{P}_1 = (10-7,5) \cdot 50 \cdot 0,0001 + (7-6) \cdot (-100) \cdot 0,0001 = 0,0025$, а $\Delta \mathcal{P}_2 = (3-6) \cdot (-100) \cdot 0,0001 = 0,03$. Аналогично, $\Delta \mathcal{P}_3 = -0,0125$ и $\Delta \mathcal{P}_4 = -0,02$. Т.е., с точки зрения данного показателя, приоритеты 1 и 2-го объектов нужно увеличить на 0,0025 и 0,03 (умноженные на соответствующий коэффициент - важность показателя), а приоритеты 3 и 4-го уменьшить на 0,0125 и 0,02.

§4. Экспериментальные расчеты

Приведем некоторые результаты численных экспериментов с целью иллюстрации основных свойств алгоритмов верхнего уровня. Пусть мощности строительной организации в каждом из 8 кварталов планового периода составляет 100 единиц, а "портфель заказов"

состоит из 100 объектов, разбитых на 4 группы (по 25 объектов). Нормативные затраты данного вида мощности по кварталам равны (3,3,2,2), (2,2,5,6), (4,4,3,2) и (7,2,2,2) для объектов 1,2,3 и 4-й групп соответственно. И пусть по объекту с номером i объем V^i капитальных вложений определяется по формуле $V^i = 30 + 0,3 * i$, а объем земляных работ $Z^i = 60 - 0,3 * i$. Задача состоит в выборе такого набора объектов со сроками их строительства, чтобы максимально использовались имеющиеся мощности строительной организации и уровень показателей (капитальные вложения и земляные работы) был не хуже заранее заданных величин. Нужно найти решение, по которому суммарный объем капитальных вложений (освоенных) был бы не меньше 3050, а общий объем земляных работ не превосходил бы 2450 единиц. Результаты эксперимента представлены рис. 2. Пунктирная линия на нем отвечает желаемому уровню объема капитальных вложений, а сплошная - объему земляных работ. Верхняя кривая соответствует траектории первого показателя, нижняя - второго.

Так как начальные приоритеты объектов были заданы равными, то траектории показателей на первых итерациях близки друг к другу. Затем они стали приближаться к желаемым уровням, а траектория объема капитальных вложений достигла его на 18-й итерации и в дальнейшем находилась выше этого уровня (кроме 24-й итерации). Траектория объема земляных работ достигла уровня 2450 единиц на 40-й итерации, после чего счет был закончен. Набор объектов, реализующий данное состояние, содержит 4 объекта из 1-й группы (при этом их строительство планируется не раньше 6-го квартала), 12 - из 2-й группы, 21 - из 3-й и все объекты из 4-й группы. Полученный набор и дает решение поставленной задачи.

Дальнейшие эксперименты показали, что при любых начальных приоритетах объектов желаемые уровни показателей достигаются. Это дает основание предполагать, что процесс глобально устойчив, т.е. не зависит от начальных приоритетов объектов. Они влияют только на число корректировок решений.

Также была проведена серия расчетов при завышенных уровнях показателей. В этом случае находится решение, компромиссное в том смысле, что ни один показатель не может быть улучшен при дальнейших итерациях в соответствии с данным алгоритмом.

Расчеты показали, что описанный в §3 алгоритм может применяться при объемно-календарном планировании строительного производства.

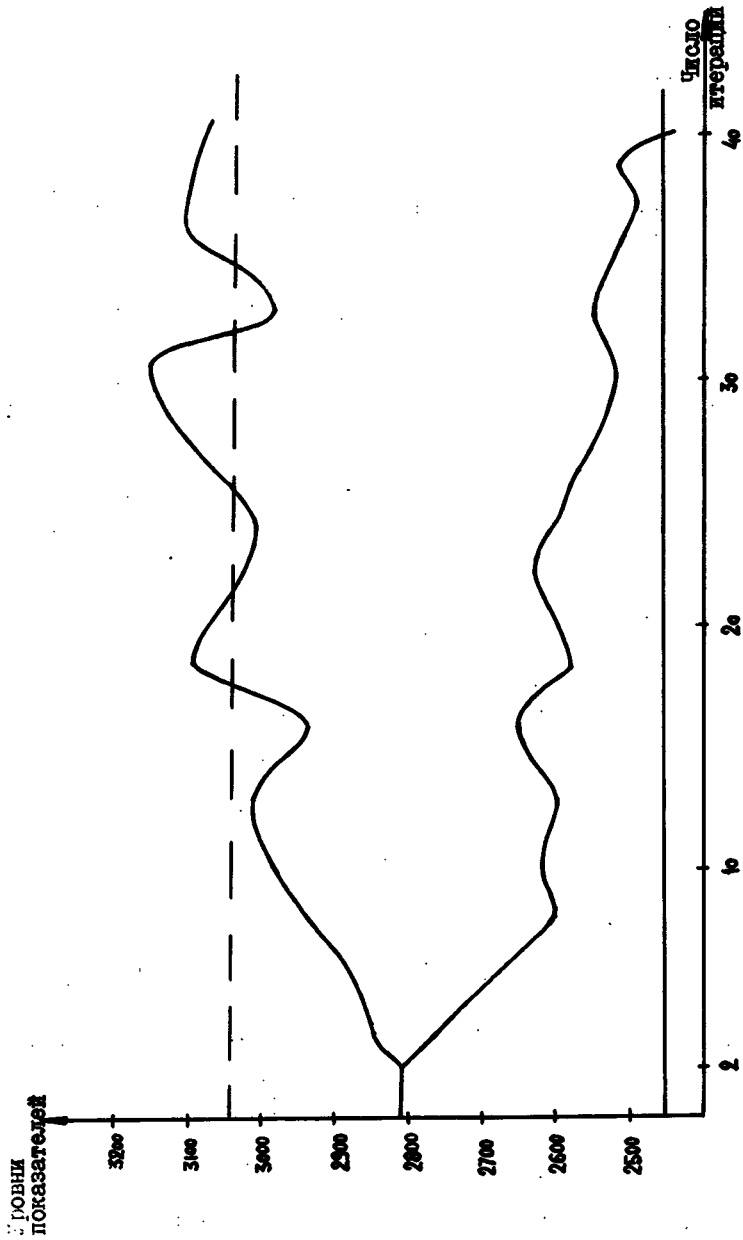


Рис. 2. Динамика показателей решения

ЛИТЕРАТУРА

1. КПСС. ЦК. Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы: Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 июля 1979 г. - М.: Политиздат, 1979.
2. Положение о производственном строительно-монтажном объединении. - Экономическая газета, №49, 1979.
3. ВОРОПАЕВ В.И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством. - М.: Стройиздат, 1975.
4. Организация, планирование и управление строительным производством. - М.: Высш. школа, 1978.
5. КАУРОВ В.М., ПЕРМИНОВ С.Б. Анализ системы стимулирования с помощью машинной имитационной модели. - Оптимизация, 1979, вып. 23(40), с.98-109.

Поступила в ред.-изд. отдел
9.06.1980 г.