

УДК 519.82

УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ БОЛЬШОГО ГОРОДА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Л. Т. Кузин, В. Ф. Евсеев, И. Д. Салмин

Рассматриваются алгоритмы оперативного управления строительным комплексом с помощью цифровых вычислительных машин.

В связи с расширением масштабов строительства возникла необходимость во введении автоматических методов управления с применением средств цифровой вычислительной техники.

В данной работе рассматривается алгоритм управления подсистемами строительства большого города по критерию минимума стоимостных издержек, который был апробирован на создаваемой автоматизированной системе управления строительством г. Москвы.

Исходными данными к алгоритму выработки управляющих воздействий являются: 1) заводы-изготовители с заданным объемом их производительности; 2) номенклатура и количество механизмов, приданных различным службам, производительности всех средств механизации, специальных бригад и средств транспортировки; 3) структура и функциональные связи в комплексе; 4) характеристики надежности элементов комплекса; 5) управляющие воздействия в случае срыва или ненормального протекания процесса на каком-либо участке работ.

Обобщенная структурная схема строительного комплекса, которая может быть формализована в терминах сети систем массового обслуживания (СМО), приведена на рис. 1. Выходным потоком первой сово-

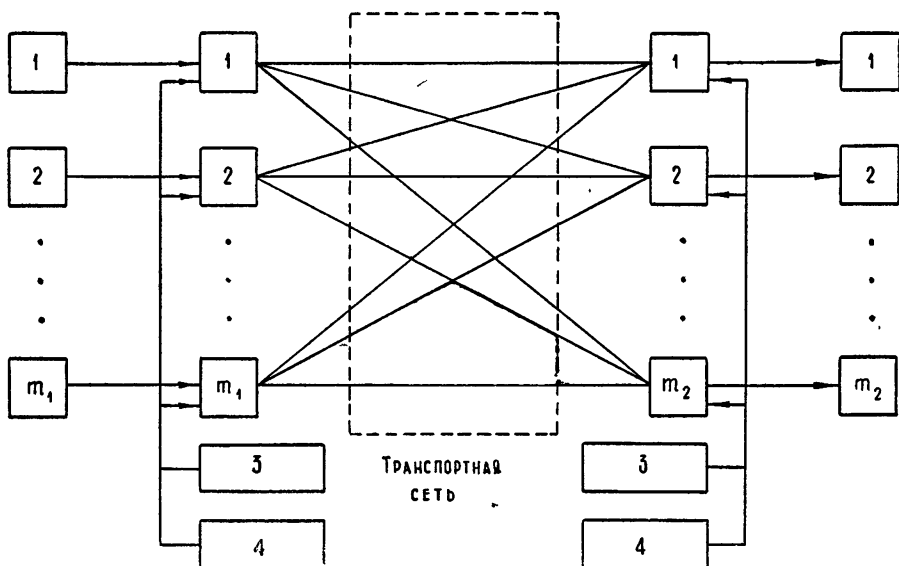


Рис. 1. Обобщенная структурная схема строительного комплекса; 3—людские резервы, 4—средства механизации.

купности СМО погрузки, представленной на этой схеме, является поток отгруженных строительными изделиями автомашин, направляемых в районы застройки. Эти потоки являются входными для систем транспортировки. В последних временем обслуживания является время транспортировки. С учетом этого времени, а также возможных отказов и времени на их устранение поток автомашин является входным потоком третьей ступени СМО—систем разгрузки. Разгруженные строительные материалы и детали являются «заявками» в системах потребления, т. е. непосредственного возведения строительных объектов. Выходом этой совокупности систем или всего комплекса в целом являются сроки ввода готовых объектов в строй. Систему управления также можно представить как СМО, у которой входом являются сигналы об аномальном протекании процесса, а выходом—изменение промежуточных потоков в комплексе. Целью управления является регулирование имеющихся ресурсов по структуре комплекса в целом. Алгоритм реализует распределение имеющихся ресурсов по объектам, заводам, службам транспортировки и погрузки.

При решении задачи, согласно существующим правилам, предусматривается, что первоначально средства транспортировки и погрузки распределяются между заводами и строительными организациями пропорционально объему выполняемых работ с учетом того, что имеется определенный резерв средств погрузки и транспортировки, который при необходимости может быть получен у смежных организаций. Средства разгрузки, ввиду специфических условий строительного производства, считаются жестко прикрепленными к строительным организациям. Решение задачи оптимального распределения сводится к следующему. Минимизируется функция потерь за счет имеющегося резерва до его полного использования; затем, если потери превосходят заданные, начинается их минимизация за счет перераспределения средств между отдельными СМО. Процедура управления заключается в том, что с подсистем комплекса в промежуточный накопитель поступает информация, которая затем передается на цифровую вычислительную машину. В результате обработки информации с вычислительного центра на объекты поступают «указания», и имеющиеся ресурсы распределяются оптимальным образом.

Выделим в сети СМО n подклассов ($j = 1, 2, \dots, n$), характеризующихся одинаковым типом обслуживающих приборов (например, подклассы систем погрузки, транспортировки и т. д.). Количество приборов в i -й СМО j -го подкласса обозначим через S_{ij} . За критерий функционирования строительного комплекса принимается следующая функция потерь:

$$\Gamma(S) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m(j)} [c_{ij}^{(1)} \bar{v}_{ij}(S_{ij}) + c_{ij}^{(2)} \bar{\rho}_{ij}(S_{ij})], \quad (1)$$

где $c_{ij}^{(1)}$ — стоимость ожидания одного требования (средства транспортировки и строительный материал) в единицу времени в i -й СМО j -го подкласса, $c_{ij}^{(2)}$ — стоимость простоя обслуживающего прибора (погрузочно-разгрузочных средств, людских ресурсов и пр.) в единицу времени в i -й СМО j -го подкласса; \bar{v}_{ij} — среднее число требований в накопителе в i -й СМО j -го подкласса; $\bar{\rho}_{ij}$ — среднее число простаивающих приборов в i -й СМО j -го подкласса.

Как показали обширные статистические исследования [1, 2], потоки, циркулирующие в системах строительного комплекса г. Москвы, и время обслуживания (выполнение различных операций по доставке грузов и строительные работы) с достаточной точностью могут

быть описаны пуассоновским и экспоненциальным распределениями соответственно. В этом случае [3]

$$\bar{\nu}_{ij} = \frac{\psi_{ij}^{S_{ij}+1}}{(S_{ij}-1)!(S_{ij}-\psi_{ij})^2} P_0, \quad (2)$$

где $\psi_{ij} = \lambda_{ij}/\mu_{ij}$, λ_{ij} — интенсивность входного потока на i -ю СМО j -го подкласса; μ_{ij} — интенсивность обслуживания одного прибора i -й СМО j -го подкласса; P_0 — вероятность простоя i -й СМО j -го подкласса, определяемая из условия

$$P_0 = \left[\frac{\psi_{ij}^{S_{ij}}}{S_{ij}!(1-\psi_{ij}/S_{ij})} + \sum_{k=0}^{S_{ij}-1} \psi_{ij}^k/k! \right]^{-1}, \quad (3)$$

$$\bar{\rho}_{ij} = S_{ij} - \psi_{ij}. \quad (4)$$

Задача управления при заданной статистике потоков в сети (в автоматизированной системе управления предусмотрены операции определения их интенсивностей через определенные промежутки времени) заключается в организации такого обслуживания, чтобы

$$\Gamma(S) = \min,$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{m(j)} S_{ij} \leq S_j^0 \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (5)$$

$$S_{ij} > \lambda_{ij}/\mu_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m(j); j = 1, 2, \dots, n). \quad (6)$$

Неравенство (5) соответствует ограничению на ресурсы (S_j^0 — заданное количество приборов j -го типа), а выражение (6) учитывает условие существования установившегося режима в сети.

Как следует из выражения (1), функция потерь комплекса является сепарабельной. Действительно,

$$\Gamma(S) = \sum_{j=1}^n \Gamma(S_j), \quad (7)$$

где

$$\Gamma(S_j) = \sum_{i=1}^{m(j)} [c_{ij}^{(1)} \bar{\nu}_{ij}(S_{ij}) + c_{ij}^{(2)} \bar{\rho}_{ij}(S_{ij})],$$

а

$$S_j = [S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{m(j)j}].$$

В силу сепарабельности функции $\Gamma(S)$ и отсутствия взаимозаменяемости ресурсов в СМО различных подклассов, оптимизация $\Gamma(S_j)$ проводится независимо для каждого подкласса.

Алгоритм итерационного поиска вектора S_j при ограничениях (5), (6) реализуется методом градиента по следующей схеме:

$$S_j^{k+1} = S_j^k - \lambda_k \partial \Gamma(S_j) / \partial S_j, \quad (8)$$

где

$$\frac{\partial \Gamma(S_j)}{\partial S_j} = \left[\frac{\partial \Gamma(S_j)}{\partial S_{1j}}, \frac{\partial \Gamma(S_j)}{\partial S_{2j}}; \dots; \frac{\partial \Gamma(S_j)}{\partial S_{m(j)j}} \right]$$

— градиент функции $\Gamma(S_j)$, k — номер итерации.

Правильность выбранного шага итерации $\lambda_k = [\Delta S_{1j}, \Delta S_{2j}, \dots, \Delta S_{m(j)j}]$ контролируется выполнением условий

$$\Gamma(S_j)^{k+1} \leq \Gamma(S_j)^k. \quad (9)$$

При невыполнении неравенства (9) необходимо уменьшить величину, так как в этом случае происходит перескок через точку минимума $\Gamma(S_j)$. Если неравенство (9) не выполняется при минимальном шаге, то процедура распределения ресурса в j -й подсистеме и процесс минимизации $\Gamma(S_j)$ прекращаются. При выполнении условия

$$\Gamma(S_j)^k \leq \Gamma(S_j)^{\text{доп}}, \quad (10)$$

где $\Gamma(S_j)^{\text{доп}}$ — допустимое значение функции потерь в СМО j -го подкласса, считается, что задача управления достигнута и осуществляется переход к следующей подсистеме, для которой условие (10) не имеет места.

В случае отсутствия резерва, т. е. $S_j^0 - \sum_{i=1}^{n(j)} S_{ij} = 0$, невыполнения условия (10) и наличия отрицательных частных производных $\partial\Gamma(S_j)/\partial S_j < 0$, начинается процедура перераспределения ресурсов, или иначе — перераспределение одноименных обслуживающих приборов между различными СМО подкласса j . Выбирается пара систем $i'j$ и $i''j$, для которых соответственно

$$\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{i'j} = \min_i [\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{ij}],$$

$$\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{i''j} = \max_i [\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, m(j))$$

и число приборов изменяется по следующему правилу:

$$\begin{aligned} S_{i'j}^{k+1} &= S_{i'j}^k + 1, \\ S_{i''j}^{k+1} &= S_{i''j}^k - 1 \end{aligned} \quad (11)$$

с одновременной проверкой условия (9). В случае выполнения этого условия значения (11) фиксируются в качестве промежуточных, и осуществляется переход к следующей итерации. В общем случае при наличии отрицательных частных производных перераспределение ресурсов осуществляется согласно правилу (11) последовательно для систем $i^{(1)}j, i^{(2)}j, \dots, i^{(l)}j$, расположенных в порядке возрастания $\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{ij}$, $i = i^{(1)}, i^{(2)}, \dots, i^{(l)}$. Процесс минимизации $\Gamma(S_j)$ для систем подкласса j прекращается при отсутствии отрицательных частных производных по параметрам S_{ij} , либо при невыполнении условий (9), после чего осуществляется переход к подклассу $(j+1)$.

Частные производные $\partial\Gamma(S_j)/\partial S_{ij}$ при машинной реализации вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \partial\Gamma(S_j)/\partial S_{ij} &\approx \Gamma(S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{ij} + \Delta S_{ij}, \dots, S_{m(j)j}) - \\ &- \Gamma(S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{m(j)j})/\Delta S_{ij}. \end{aligned} \quad (12)$$

Избранная процедура минимизации на этапе перераспределения показала свою простоту и эффективность и объясняется свойствами выпуклости функционала $\Gamma(S_j)$ и естественным свойством возможности его минимизации посредством организации шага по координате с наибольшей крутизной убывания за счет возрастания $\Gamma(S_j)$ с тем же шагом по координате с наименьшей крутизной возрастания.

Иллюстрацию эффективности алгоритма управления проведем на основе управления распределением автомашин и погрузочных кранов

для двух районов застройки: центр и Зюзино. Исходные данные для решения задавались в соответствии с реальной ситуацией. Практический анализ полученных результатов организации служб строительства показал высокую эффективность рассмотренного алгоритма управления. На рис. 2 показано изменение функции стоимости в процессе решения при нахождении оптимального размещения погрузочных кранов.

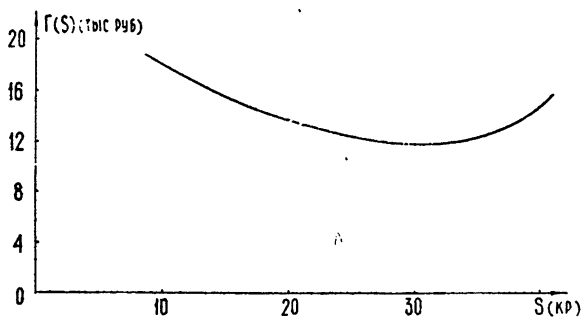


Рис. 2. Изменение $\Gamma(S)$ для погрузочных кранов.

После их перераспределения в имеющихся сорока СМО стоимость издержек уменьшилась с 17,8 тысячи рублей до 11,6 тысячи рублей за смену. На рис. 3 показан аналогичный график изменения функции стоимости для автомашин при различных значениях их резерва. На

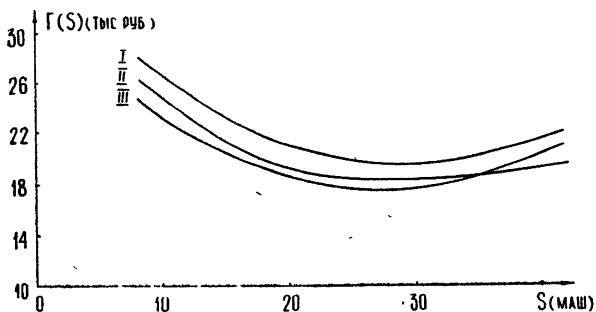


Рис. 3. Изменение $\Gamma(S)$ для автомашин. Резерв машин: I-42, II-52, III-62.

рис. 4 приведено изменение показателя $\Gamma(S)$ в зависимости от имеющегося резерва автомашин, в соответствии с которым можно установить

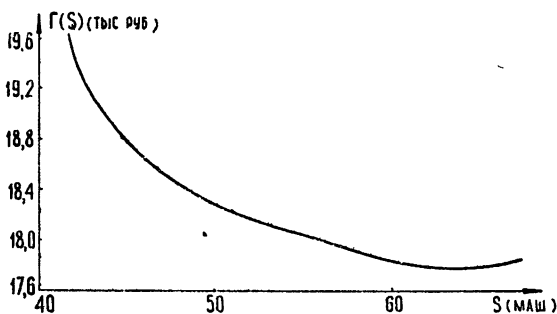


Рис. 4. Изменение $\Gamma(S)$ в зависимости от резерва автомашин.

оптимальный резерв автомашин для заданных статистических условий производства, при возможности обеспечения которого стоимость издержек будет минимально возможной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Е. Борохович, В. Ф. Евсеев, Л. Т. Кузин, О. Д. Полнна, сб Системотехника и статистическое моделирование систем управления, Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР, Минск, 1967.
2. Л. Т. Кузин, В. Ф. Евсеев, О. Д. Полнна, Р. Е. Борохович, Тезисы докладов V Всесоюзного научно-технического совещания по созданию и внедрению систем управления с применением вычислительной техники, Тбилиси, 1967.
3. А. Кофман, Р. Крюон, Массовое обслуживание, Теория и приложения, изд. Мир, М., 1965.

Московский инженерно-физический
институт

Поступила в редакцию
2 декабря 1968 г.

DIGITAL COMPUTER-AIDED CONTROL OF A CITY BUILDING COMPLEX

L. T. Kusin, V. F. Evseyev, . D. Salmin

Algorithms for digital computer-aided operative control of a building complex are studied.
