Construction and Architecture (2020) Vol. 8. Issue 2 (27): 39—43
DOI: 10.29039/2308-0191-2020-8-2-39-43

Задача оптимального планирования сложной системы на механизме координации с интервалами

Баркалов С.А.
Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж); e-mail: u00740@vgasu.vrn.ru

Белоусов В.Е.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

Тутарищев З.Б.
Аспирант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: saya-saya-1993@mail.ru

Король О.А.
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва); e-mail: mrkorol.oleg@gmail.com

Статья получена: 21.04.2020. Рассмотрена: 12.05.2020. Одобрена: 24.06.2020. Опубликована онлайн: 30.06.2020. ©РИОР

Аннотация. В статье рассматривается задача оптимального планирования с использованием средних значений и дисперсий, реализующая принцип стохастического планирования, при котором к началу планового периода формируется определенный (окончательный) план, а в дальнейшем — только вероятный (предварительный). Приведен декомпозиционный анализ этой задачи для выявления алгоритмов функционирования системы моделей определенно-вероятностного планирования. В качестве приближенного метода решения задачи предлагается механизм координация с интервалами.

Исходя из правил моделирования и теории подобия, предлагается определить оптимальные условия для экспериментального моделирования решения по усилению существующих монолитных железобетонных ленточных фундаментов способом совместной работы их с монолитной железобетонной плитой, разделенной профилированным листом по высоте на две части (верхнюю и нижнюю) с инъекционными скважинами для нагнетания твердеющего раствора непосредственно под несъемную опалубку из профилированного листа.

Ключевые слова: задача, сложная система, модель, вероятностные параметры проекта, проект, механизм координации.

1. Введение

Предположим, что данные плановой задачи описываются случайным вектором ξ, заданным в пространстве Z, с распределением F. Пусть

THE PROBLEM OF OPTIMAL PLANNING OF A COMPLEX SYSTEM ON THE COORDINATION MECHANISM WITH INTERVALS

Sergej Barkalov
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Management", Voronezh State Technical University, Voronezh; e-mail: u00740@vgasu.vrn.ru
Vadim Belousov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru
Zaur Tutarishhev
Postgraduate Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: saya-saya-1993@mail.ru
Oleg Korol
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Housing and Communal Complex Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: mrkorol.oleg@gmail.com
Manuscript received: 21.04.2020. **Revised**: 12.05.2020. **Accepted**: 24.06.2020. **Published online:** 30.06.2020. ©RIOR
Abstract. The article discusses the problem of optimal planning using mean values and variances, which implements the principle of stochastic planning, in which a certain (final) plan is formed by the beginning of the planning period, and then only a probable (preliminary) one. A decomposition analysis of this problem is presented to identify algorithms for the functioning of a system of models of definite probabilistic planning. As an approximate method for solving the problem, a coordination mechanism with intervals is proposed.
Keywords: task, complex system, model, probabilistic parameters of the project, project, coordination mechanism.

эффект плана x — случайная функция (со случайными параметрами ξ): $\varphi(x, \xi)$. Допустим, что значение $\varphi(x, \xi)$ не зависит от момента фиксации плана и ξ не зависит от плана x.

2. Постановка задачи

Теперь определенный план (детерминированный) можно установить по так называемому принципу принятия решения «здесь и сейчас»:

$$x = \left\{x \middle| E\varphi(x,\xi) = \max\right\}.$$

Вероятный план получим, если использовать так называемый принцип дожидания:

$$x(\xi) = \left\{x(\xi) \middle| \varphi(x,\xi) = \max\right\}.$$

В этих терминах имеет место теорема [1], которую теперь можно сформулировать таким образом: ожидание эффекта от оптимального определенного плана не превышает (равно или меньше) ожидания эффекта от вероятного оптимального плана, т.е.

$$\max E\varphi(x,\xi) \le E \max \varphi(x,\xi),$$

причем предполагается, что максимумы и ожидания φ существуют.

Выяснилось, что в некоторых условиях экономически выгодно медлить с фиксацией плановых показателей до тех пор, пока не будет дополнительной информации. Однако малочисленность определенных плановых показателей связана с экономическим убытком. Это вытекает из динамической связанности экономических процессов: возможная интенсивность более поздних действий зависит от реализации предыдущих. Понятно, что встает вопрос, какие плановые показатели целесообразно фиксировать для данного планового периода и какие спрогнозировать. Это самостоятельная сложная задача оптимизации, в которой необходимо взвешивать выгодность и невыгодность, связанные с фиксацией каждого показателя плана. Наиболее простым приблизительным методом решения этой задачи, которым мы и воспользуемся, является разграничение показателей во времени.

Для общей формулировки макроэкономической динамической задачи определенно-вероятностного планирования воспользуемся следующими понятиями и обозначениями.

Весь период, охватываемый функцией $\varphi(x, \xi)$, назовем периодом учета и обозначим через R. Период учета делится на интервалы (например, на годы): $R = \{1, ..., w\}$, где w — число интервалов. Весь плановый период разобьем на два подпериода (стадии): ранний период определенного плана $R_{\mathrm{I}} = \{1, ..., t\}$, где $t < w$, и поздний период вероятного плана $R_{\mathrm{II}} = \{t + 1, ..., m\}$. Соответственно этому разобьем множество параметров плановой задачи: $\xi = \{\xi_{\mathrm{I}}, \xi_{\mathrm{II}}\}$; при $x = \{x_{\mathrm{I}}, x_{\mathrm{II}}\}$.

Допустим, что поздний вероятный план не оказывает влияния на эффект раннего определенного плана. Теперь эффект всего планового периода R можно записать таким образом:

$$\varphi(\chi, \xi) = \varphi_{\mathrm{I}}(\chi_{\mathrm{I}}, \xi_{\mathrm{I}}) + \varphi_{\mathrm{II}}(\chi_{\mathrm{II}}, \xi_{\mathrm{II}}, \chi_{\mathrm{I}}, \xi_{\mathrm{I}}),$$

на основе чего задача определенно-вероятностного планирования принимает форму:

$$\max_{x_{\mathrm{I}}} \underset{\xi_{\mathrm{I}}}{E}\left[\varphi_{\mathrm{I}}(\chi_{\mathrm{I}},\xi_{\mathrm{I}}) + \max_{x_{\mathrm{II}}} \underset{\xi_{\mathrm{II}}}{E}\,\varphi_{\mathrm{II}}(x_{\mathrm{II}},\xi_{\mathrm{II}},x_{\mathrm{I}}\xi_{\mathrm{I}})\right], \quad (1)$$

где $\underset{\xi_{\mathrm{I}}}{E}$ и $\underset{\xi_{\mathrm{II}}}{E}$ — операторы ожидания по ξ_{I} и ξ_{II}.

Это — двухстадийная задача стохастической оптимизации, где $x_{\mathrm{I}} = fix$, а решение x_{II} второй стадии относительно ξ_{I} является условным: $x_{\mathrm{II}} = x_{\mathrm{II}}(\xi_{\mathrm{I}})$.

Теперь можно утверждать, что справедлива следующая теорема [2]:

В предположении, что максимум и ожидания функций φ существуют, определенно-вероятный план преобладает над определенным плащом:

$$\max_{x_{\mathrm{I}}} \underset{\xi_{\mathrm{I}}}{E}\left[\varphi_{\mathrm{I}} + \max_{x_{\mathrm{II}}} \underset{\xi_{\mathrm{II}}}{E}\,\varphi_{\mathrm{II}}\right] \ge \max_{x} E\varphi(x,\xi).$$

Из теоремы видно, что задачи планирования целесообразно ставить как определенно-вероятностные, которые являются более гибкими. Они позволяют учитывать новую информацию и влияние окончательных решений на будущие планы.

3. Описание одной задачи определенно-вероятностного планирования

Аналитическое исследование задач стохастического программирования происходит при помощи их детерминированных эквивалентов [3]. Следовательно, стохастическую задачу можно и прямо поставить в виде детерминированной аппроксимации. Ниже описана такая модель, в которой случайные величины аппроксимированы при помощи их средних значений и дисперсий [4].

Экономическое содержание задачи следующее. Имеется линейная целевая функция от вектора плановых показателей и максимизируется ее математическое ожидание. Ограничения задачи наложены на математические ожидания и дисперсии балансовых уравнений производства и потребления. В векторе планируемых действий помимо текущего производства и инвестирования имеются показатели запасов и показатели, характеризующие гибкость вероятного плана. Эти действия являются «антистохастическими» и имеют отрицательные множители в системе ограничений на дисперсии.

Весь плановый период разобьем на две части: I — ранний подпериод определенного плана, II — поздний подпериод вероятного плана. В обоих подпериодах различаем $i \in M\{1, ..., m\}$, где M — множество номеров ресурсов. Обозначим вектор определенного плана для первого подпериода через $x_{\mathrm{I}} = \left(x_j^{\mathrm{I}}\right)$, $j \in N\left\{1,\ldots,n\right\}$, и вектор вероятного плана для второго подпериода — через $\left(\bar{x}_{\mathrm{II}}, \sigma^2_{\mathrm{II}}\right) = \left(\left(\bar{x}_j^{\mathrm{II}}\right), \left(\sigma^2_{j\mathrm{II}}\right)\right)$, $j = 1, \ldots, n$. Здесь $\bar{x}_j^{\mathrm{II}}$ —среднее значение вероятного планового показателя j и $\sigma^2_{\mathrm{II}j}$ —планируемая дисперсия вероятного планового показателя j. Последние должны балансировать отклонения, вероятные в связи со случайностью тех параметров первого подпериода, которые оказывают влияние на план второго подпериода. По существу, здесь речь идет об отклонениях основных фондов и запасов, переходящих из первого подпериода, которые план второго подпериода должен быть в состоянии компенсировать.

На основании изложенного можно записать следующую простую задачу:

найти неотрицательные $x_j^{\mathrm{I}} \bar{x}_j^{\mathrm{II}}$ и $\sigma^2_{j\mathrm{II}}$ такие, что:

$$\sum_j \left(c_j^{\mathrm{I}} \bar{x}_j^{\mathrm{I}} + \bar{c}_j^{\mathrm{II}} \bar{x}_j^{\mathrm{II}}\right) = \max \tag{2}$$

при условиях:

$$\sum_j \bar{a}_{ij}^{\mathrm{I}} x_j^{\mathrm{I}} \geq \bar{b}_i^{\mathrm{I}} \tag{3}$$

$$\sum_j \left(\bar{a}_{ij}^{\mathrm{I\,II}} x_j^{\mathrm{I}} + \bar{a}_{ij}^{\mathrm{II}} \bar{x}_j^{\mathrm{II}} + \breve{a}_{ij}^{\mathrm{II}} \sigma^2_{j\mathrm{II}}\right) \geq \bar{b}_i^{\mathrm{II}}; \tag{4}$$

$$\sum_j \sigma^2_{ij\mathrm{I}} \left(x_j^{\mathrm{I}}\right)^2 + \sigma^2_{bi\mathrm{I}}\big) \leq d_i^{\mathrm{I}}; \tag{5}$$

$$\sum_j \left[\sigma^2_{ij\mathrm{III}} \left(x_j^{\mathrm{I}}\right)^2 + \sigma^2_{ij\mathrm{II}} \left(\bar{x}_j^{\mathrm{II}}\right)^2 + \sigma^2_{j\mathrm{II}} \left(\bar{a}_{ij}^{\mathrm{II}}\right)^2\right] + \\ + \sigma^2_{bi\mathrm{II}} \leq d_i^{\mathrm{II}}, \tag{6}$$

где $\bar{c}_j, \bar{a}_{ij}, \breve{a}_{ij}, b_i$ — средние значения случайных независимых параметров;

σ^2_{ij} и σ^2_{bi} — дисперсии параметров;

d_i — заданные ограничения.

Ограничения (3) и (4) наложены на средние значения балансов производства-потребления. Ограничение (5) снижает отклонения балансовых результатов от среднего в первый подпериод. Ограничение (6) играет ту же роль во второй подпериод, причем учитываются также переходящие из первого подпериода отклонения.

Решение задачи затрудняют квадратичные ограничения (5), (6), но она легко поддается анализу методами декомпозиции.

4. Декомпозиционный анализ задачи

Анализ разложения определенно-вероятностных задач оптимального планирования представляет интерес в двух отношениях.

Во-первых, стохастические задачи оптимизации крупномерны и нередко имеют блочную структуру, что говорит о целесообразности их решения с помощью методов декомпозиции.

Во-вторых, экономическая интерпретация методов декомпозиции этих задач позволяет внести ясность в исследование вопросов, функционирования планирующей системы в условия стохастики, а тем самым в проблемы оптимального функционирования центрально координируемой стохастической экономики вообще.

Рассмотрим решение задачи (2) — (б) методом декомпозиции в случае, когда координация подзадач (задач единиц) ведется с помощью цен [4]. Для разложения задачи каждое действие как в первый, так и во второй период принимаем за условно-автономную единицу. Каждая единица устанавливает для себя условно-оптимальный план так, чтобы максимизировать разницу между поступлениями и расходами средств в ценах, заданных центром. Центр назначает цены на все средства, на которые в исходной задаче наложены ограничения.

В исходной задаче имеются два вида ограничений. Первый вид описывает средние значения производства и потребления, а второй — их рассеивание (дисперсию). Цены на ограничения первого вида можно рассматривать как обычные цены при купле и продаже. Цены на ограничения второго вида представляют собой цены за риск. Единица, которая в плане создает положительную дисперсию, должна расплачиваться за это ценой за риск, назначенной центром. За эту цену единица получает, так сказать, свободу работать в некотором интервале. Полученный доход центр использует для образования запасов, необходимых в связи с предоставлением единицам свободы действий.

Действия, возмещающие рассеивание (создание запасов и вероятные планы), получают от этого доход на основе цен за риск, устанавливаемых центром. Их затраты связаны с приобретением необходимых средств.

Далее на основе условно-оптимальных планов единицы посылают информацию в центр. Последний использует новую информацию для корректировки цен, приближая их к равновесным ценам исходной задачи. На основе исправленных цен начинается новая итерация.

Для корректировки цен центру нужны не только условные планы единиц, но и соответствующие результаты производства-потребления. Допустим, что случайная величина a_{ij} — параметр производства-потребления средства i единицей j. Тогда при плане по средству i результат будет $a_{ij}x_j$. Оказывается, что результат является случайным как яри определенном, так и при вероятном плане. Таким образом, единицы, составляющие определенно-вероятные планы, сообщают центру только вероятные результаты и в этом аспекте между единицами нет различия.

Вместе с тем видно, что планирование отклонений по потребленным средствам всегда требует от единиц затрат (положительная дисперсия), при произведенных средствах возникают различные случаи в зависимости от того, принадлежит ли единица к периоду определенного или вероятного плана. В первом случае стимулируется уменьшение рассеивания продукции (положительная дисперсия), а во втором — увеличение (отрицательная дисперсия).

При определенных планах центр заинтересован в том, чтобы производственный результат единицы не отклонялся от намеченного равновесного значения. Но при вероятном плане центр заинтересован в том, чтобы единица предусматривала достаточно широкие возможности варьирования объема продукции. В первом случае большие отклонения вызывают увеличение запасов, а во втором — снижение их. Разумеется, что для варьирования объема продукции необходимо создать запасы мощностей. Таким образом, в период вероятного плана по сути дела стимулируется создание запасов мощностей.

5. Планирование с использованием механизмов интервальной координации

При реальной планирующей системе, охватывающей множество структурных единиц, как приближение целесообразно заменить среднее значение и дисперсию на доверительный отрезок и соответственно модифицировать правила координации.

Дело в том, что случайный результат $U_{ij} = a_{ij}x_j$ производства-потребления приблизительно может быть описан соответствующим доверительным отрезком $\bar{U} = \left[U_{ij}, U_{ij}\right]$, где $U_{ij} \geq U_{ij}$ — концевые точки доверительного отрезка. Оценка значений последних сравнительно удобна.

Если теперь единицы сообщают центру отрезки U_{ij}, $i \in M$, $j \in N$, то на их основе центр может дать оценку средним значениям и дисперсиям, проверить выполнение ограничений исходной задачи. Координация единиц центром ведется так: единицам сообщают цены на средства, действующие на показанных ими доверительных отрезках, и цены на длину доверительного отрезка или цены за риск.

В представленных предписаниях координации единицы $j \in N$ передают в центр вероятные структуры производства-потребления $v_j = (v_{ij})$, $i \in M$. Так как последние случайны, то возникает проблема предотвратить в этих сообщениях искажения ($U_j \neq a_j x_j$) и стимулировать неискаженные сообщения $U_j = a_j x_j$. Для обеспечения достоверности передаваемых данных их необходимо считать планами единиц и тем самым учитывать в стимулировании результатов работы единиц. Обозначим реализацию структуры производства — потребления единицы j через $y_j = (y_{ij})$, $i \in M$. Теперь функция стимулирования единицы j должна включать в себя два аргумента — y_i и U_j.

Одну из функций стимулирования можно наглядно описать на примере интервальной координации. Пусть имеется функция стимулирования единицы j по средству i:

$$s_{ij}\left(y_{ij}, U_{ij}\right) = \lambda_i y_{ij} - \left(U_{ij} - U_{ij}\right)\eta_i - \begin{cases} p_i, \ y_{ij} \notin U_{ij} \\ 0, \ \ y_{ij} \in U_{ij} \end{cases}.$$

Пусть по всем средствам функция стимулирования будет $s_j = \sum_i s_{ij}$.

Параметры этой функции истолкуем так: λ_i — цена на средство i, y_{ij} — производство ($y_{ij} > 0$) или потребление ($y_{ij} \leq 0$) средства i единицей j, η_i — цена за риск и p_i — штраф за искажение.

Допустим, что по мнению руководителя единицы j, U_{ij} является доверительным интервалом. Нетрудно видеть, что при подходящих η_i, и p_i руководителю единицы лучше планировать промежуток U_{ij}, чем какой-либо другой промежуток U_{ij}, так как:

$$Es_{ij}\left(U_{ij}, U_{ij}\right) \geq Es_{ij}\left(U_{ij} U_{ij}\right).$$

В самом деле, если выбрать более широкий интервал, то цена за риск будет больше, при узком интервале можно ожидать большего штрафа за искажение.

Литература

1. *Ивановский А.Г.* Принцип несимметричной корректировки в организационных системах [Текст] / А.Г. Ивановский // VIII Всесоюзное совещание по проблемам управления. Список докладов. — Таллин: Институт проблем управления, Госплан ЭССР, 1980.
2. *Белоусов В.Е.* Алгоритм поиска базового критерия при проектировании сложных технических систем [Текст] / В.Е. Белоусов, А.Л. Маилян // Научный журнал «Строительство и архитектура». — М.: Изд-во РИОР, 2019. — Т. 7 (1). — С. 61–65.
3. *Тутарищев З.Б.* Механизмы совместного планирования и регулирования в сложных системах управления [Текст] / Белоусов В.Е., Тутаришев З.Б., Ходунов А.М. // Проектное управление в строительстве. — 2020. — № 1. — С. 69–758.
4. *Белоусов В.Е.* Алгоритмы формирования и планирования процесса реализации портфеля взаимосвязанных проектов [Текст] / В.Е. Белоусов, В.П. Морозов, И.С. Никитин // Математические модели современных экономических процессов, методы анализа иерархий и синтеза экономических механизмов: [сб. ст.] XIII Всероссийская научно-практическая конференция / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук, Самар. нац. исслед. ун-т им. С.П. Королева; гл. ред. Д.А. Новиков. — Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2020. — С. 25–30.

References

1. Ivanovskij A.G. Princip nesimmetrichnoj korrektirovki v organizacionnyh sistemah [The principle of asymmetric adjustment in organizational systems]. *VIII Vsesoyuznoe soveshchanie po problemam upravleniya. Spisok dokladov* [VIII All-Union Meeting on Management Problems. List of reports]. Tallin: Institut problem upravleniya Publ., Gosplan ESSR Publ., 1980.
2. Belousov V.E. Algoritm poiska bazovogo kriteriya pri proektirovanii slozhnyh tekhnicheskih sistem [The search algorithm for the basic criterion in the design of complex technical systems]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Scientific journal "Building and Architecture"]. Centr RIOR Publ., Moscow, 2019, V. 7 (1), pp. 61–65.
3. Tutarishev Z.B. Mekhanizmy sovmestnogo planirovaniya i regulirovaniya v slozhnyh sistemah upravleniya [Mechanisms of joint planning and regulation in complex control systems]. *Proektnoe upravlenie v stroitel'stve* [Scientific journal "Project management in construction" Publishing house of VSTU]. VGTU Publ., Voronezh, 2020, I. 1, pp. 69–758.
4. Belousov V.E. Algoritmy formirovaniya i planirovaniya processa realizacii portfelya vzaimosvyazannyh proektov [Algorithms for the formation and planning of the implementation process of a portfolio of interrelated projects]. *Matematicheskie modeli sovremennyh ekonomicheskih processov, metody analiza ierarhij i sinteza ekonomicheskih mekhanizmov. XIII Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya* [Mathematical models of modern economic processes, methods of analysis of hierarchies and synthesis of economic mechanisms]. Samara: SamNC RAN Publ., 2020, pp. 25–30.