

УДК 656.01

Параметрическая оптимизация функциональных подсистем строительных и транспортных организаций

Зайцев Д. В.^{1,*}, Сакун Б. В.¹

info@madi.ru

¹Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), Москва, Россия

В статье рассматриваются вопросы оптимизации системы управления строительными и транспортными организациями. Предлагается схема управления, основанная на двухуровневой иерархической системе. Проводится анализ моделей функционирования, необходимых для построения координирующего элемента. Показано, что существенное влияние на выбор критерия оптимальности оказывает режим функционирования системы и существующий в распоряжении разработчиков набор исходных данных.

Ключевые слова: асфальтобетонный завод, параметрическая оптимизация, пропускная способность, глобально-оптимальные решения

Введение

В статье рассматривается задача параметрической оптимизации иерархической двухуровневой системы управления предприятием на примере асфальтобетонного завода (АБЗ). Функциональная структура системы управления показана на рис. 1. На этом рисунке приняты следующие обозначения: СУ ПО ФПС – система управления параметрической оптимизацией функциональной подсистемы; ПО ФПС – блок параметрической оптимизации функциональной подсистемы АБЗ; АИД – блок анализа исходных данных; ПУ – блок проверки условия окончания итерационной процедуры.

Обозначим S – множество состояний функциональной подсистемы, а $P(S)$ – распределение вероятности, заданное на множестве состояний S . Любому ансамблю состояний $AS=(S,P(S))$ функциональной системы можно поставить в соответствие некоторый план распределения входных заявок, закрепленный за элементами функциональной системы Q .

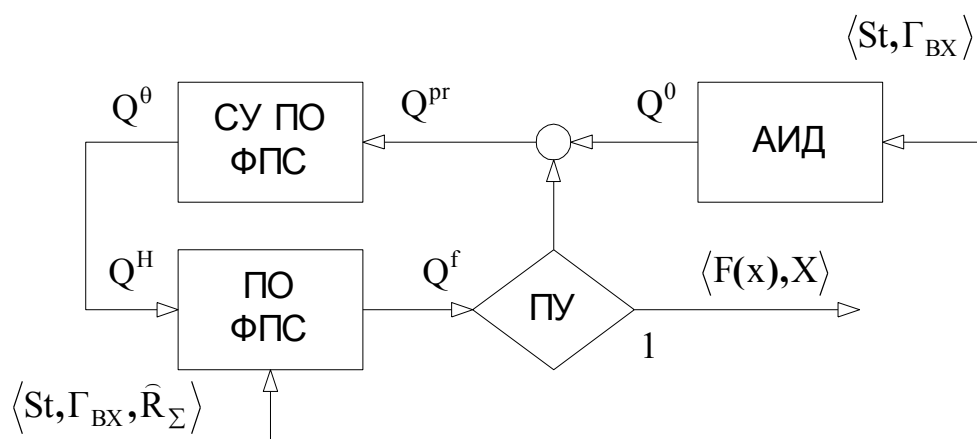


Рис. 1. Процедура управления параметрической оптимизацией ФПС АБЗ

Блок параметрической оптимизации выполняет поиск локально-оптимального решения задачи параметрической оптимизации для функциональной подсистемы АБЗ, используя заданную начальную точку. На основе информации о распределении заявок в функциональной подсистеме блок управления процессом параметрической оптимизацией формирует новую начальную точку таким образом, чтобы получить максимальное значение пропускной способности функциональной подсистемы. Этот процесс является итерационным, он продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие остановки. Контроль достижения условия остановки выполняется в специальном блоке. Стартовая точка данного итерационного процесса задается в блоке анализа исходных данных.

Методы оптимизации транспортировки материалов на объекты строительства

Задачи транспортировки материалов на строительные объекты отличаются несколькими особенностями, среди которых отметим неоднородность и высокую размерность [2, 8]. Задачи этого типа неоднородны, поскольку в любой точной постановке система ограничений включает в себя как линейные, так и нелинейные уравнения и неравенства. Задачи отличаются высокой размерностью так как их математические модели требуют большого числа переменных. По этим причинам непосредственное решение классическими методами математического программирования часто становится затруднительным или невозможным. Уменьшить размерность задачи без потери адекватности ее модели можно при помощи декомпозиционного подхода.

Многообразие постановок оптимизационных задач и зависимость метода решения как от вида и характера критерия эффективности, так и от вида системы ограничений, оп-

ределяют большое количество методов решения. Более глубоко изучены методы линейного программирования, обеспечивающие эффективное решение задач с линейным критерием и с линейной системой ограничений. Модели линейного программирования широко применяются в промышленной логистике и автоматизированном проектировании.

В последнее время интенсивно исследуются методы нелинейного программирования, которые во многих случаях дают более точное описание проблемных ситуаций. Они более сложны с вычислительной точки зрения, но позволяют использовать нелинейный критерий качества и нелинейное ограничения [4].

Методы динамического программирования предназначены для решения многошаговых задач оптимизации с аддитивными или мультипликативными критериями качества. Многие практические задачи управления ресурсами или теории расписаний можно сформулировать как задачи динамического программирования. Теория игр представляет собой математическую теорию принятия решений в условиях неопределенности. Некоторые задачи теории игр могут быть представлены в виде задачи линейного программирования и решены симплекс-методом. Оптимизационные задачи, в которых переменные, ограничения и целевая функция носят случайный характер, рассматриваются в стохастическом программировании. Наконец, оптимизационные задачи и принятие рациональных решений в условиях неопределенности занимается теория нечетких множеств, которая интенсивно развивается в последнее время. Все большее распространение при исследовании сложных систем получают эвристические, приближенные и инспирированные (бионические) методы поиска решений.

Поиск глобально - оптимального решения пропускной способности АБЗ

Предполагается, что в начальный момент времени все состояния АБЗ как систем равновероятны. Это позволяет определить на элементах и подсистемах АБЗ некоторый начальный план Q^0 . Работу системы управления можно представить как преобразования с оператором A^Θ .

$$A^\Theta : Q^{PG} \rightarrow Q^\Theta, \quad Q^\Theta = \arg \max_Q \Theta(Q) \Big|_{Q^{md} \in \{Q^0, Q^f\}}, \quad (1)$$

где Θ – пропускная способность функциональной подсистемы.

Если определен ансамбль $(S, P(S))$ на множестве состояний S , то его реализация максимизирует пропускную способность функциональной подсистемы точка 1 (рис. 3).

Используя полученную точку Q^Θ , блок параметрической оптимизации получает новую точку Q^f (точка 2), которая, в свою очередь, используется в качестве начальной. Это можно описать операторным преобразованием с оператором A^f .

$$A^f : Q^H \rightarrow Q^f, Q^f = \arg \min_Q f(Q) \Big|_{Q^H = Q^\Theta}, \quad (2)$$

где f – показатель качества функциональной подсистемы.

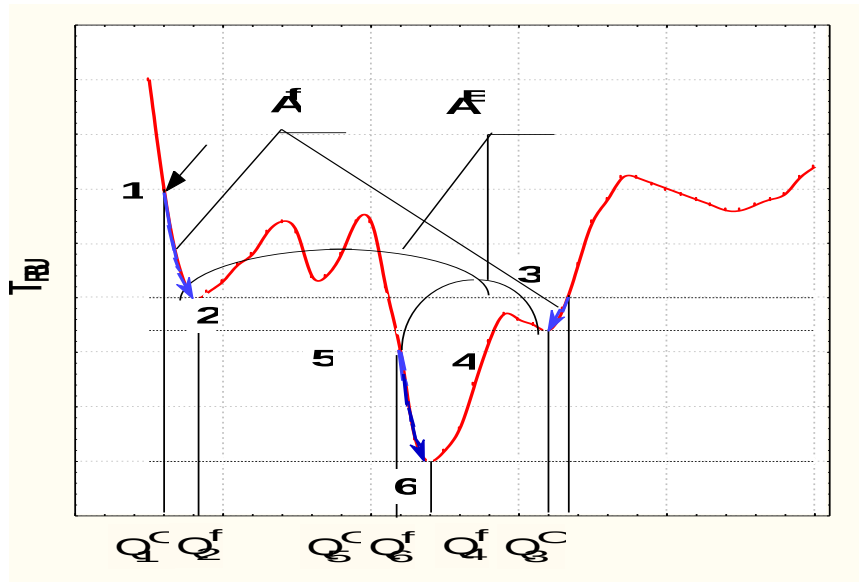


Рис. 2. Поиск оценки глобально - оптимального решения задачи ПО ФПС

Если полученное решение является локально оптимальным, то очевидно, существует новый ансамбль $(S', P(S'))$, для которого введенные интегральные показатели качества f и Θ будут по крайней мере не хуже решения, которое обладает свойствами локальной оптимальности f . Можно видеть, что для определения плана распределения потоков Q (точка 3 на рис. 2), отвечающего последнему ансамблю, необходимо использовать преобразование типа A^Θ .

Пусть на некотором шаге этого процесса будет получено глобально оптимальное по f решение. В этом случае никакой иной ансамбль состояний не будет лучше текущего по показателям качества f и Θ . Из этого вытекает, что условие окончания итерационного процесса (1) может быть записано в следующем виде:

$$(f_l = f_{l+1})! (\Theta_l = \Theta_{l+1}) \quad (3)$$

где l – номер шага итерации.

Свойства итерационного процесса (1) задается двумя следующими утверждениями.

Утверждение 1. Точка, в которой пропускная способность функциональной подсистемы достигает своего максимума, не принадлежит области притяжения локально оптимального по f решения, взятого в качестве исходного для процедуры, то есть:

$$Q^{\ominus} = \arg \max_Q \Theta(Q) \Big|_{Q^{pr}=Q^f} \Rightarrow Q^{\ominus} \notin E(Q^f) \quad (4)$$

$$E(Q^f) = \left\{ \tilde{Q} : Q^f = \arg \min_Q f(Q) \Big|_{Q^H=Q^f} \right\} - \text{область притяжения.}$$

Утверждение 2. Если Q_1^f и Q_{l+1}^f – локально оптимальные по f решения задачи параметрической оптимизации функциональной подсистемы на l и $(l+1)$ шагах, то справедливо следующее неравенство $f(Q_1^f) \geq f(Q_{l+1}^f)$.

Приведенные утверждения свидетельствуют о том, что рассмотренный итерационный процесс сходится к глобально оптимальному решению задачи параметрической оптимизации функциональной подсистемы.

В процессе работы описанной процедуры минимизируемая функция представляет собой элемент ансамбля с заданной вероятностной мерой. После каждого испытания исходная (априорная) вероятностная мера пересчитывается в апостериорную, на основе которой строятся оценки экстремума. Это дает основание отнести данную процедуру к классу информационно-статистических методов оценки глобального экстремума многоэкстремальных функций [11].

Полученные результаты приведены на рис. 4 и 5. Они показывают последовательное улучшение значений функции качества и пропускной способности в зависимости от шага итерационного процесса (1).

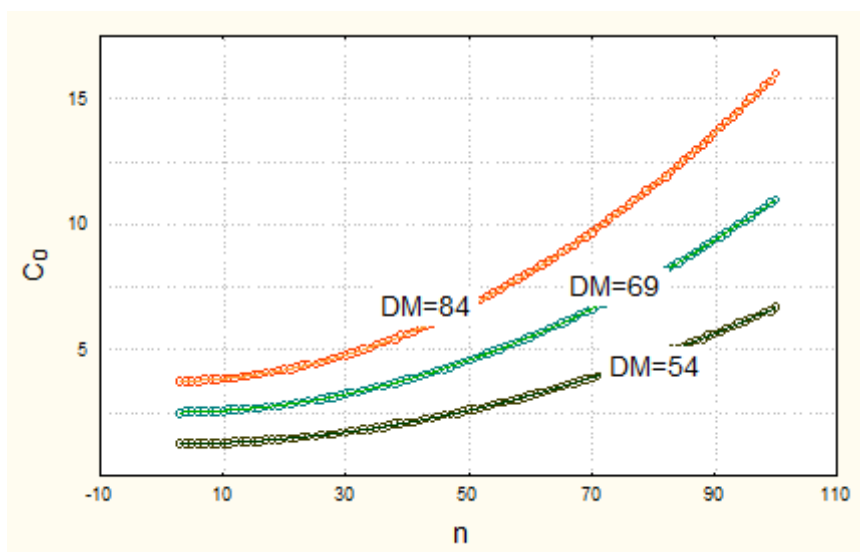


Рис. 4. Увеличение пропускной способности АБЗ в зависимости от числа шагов оптимизации (n)

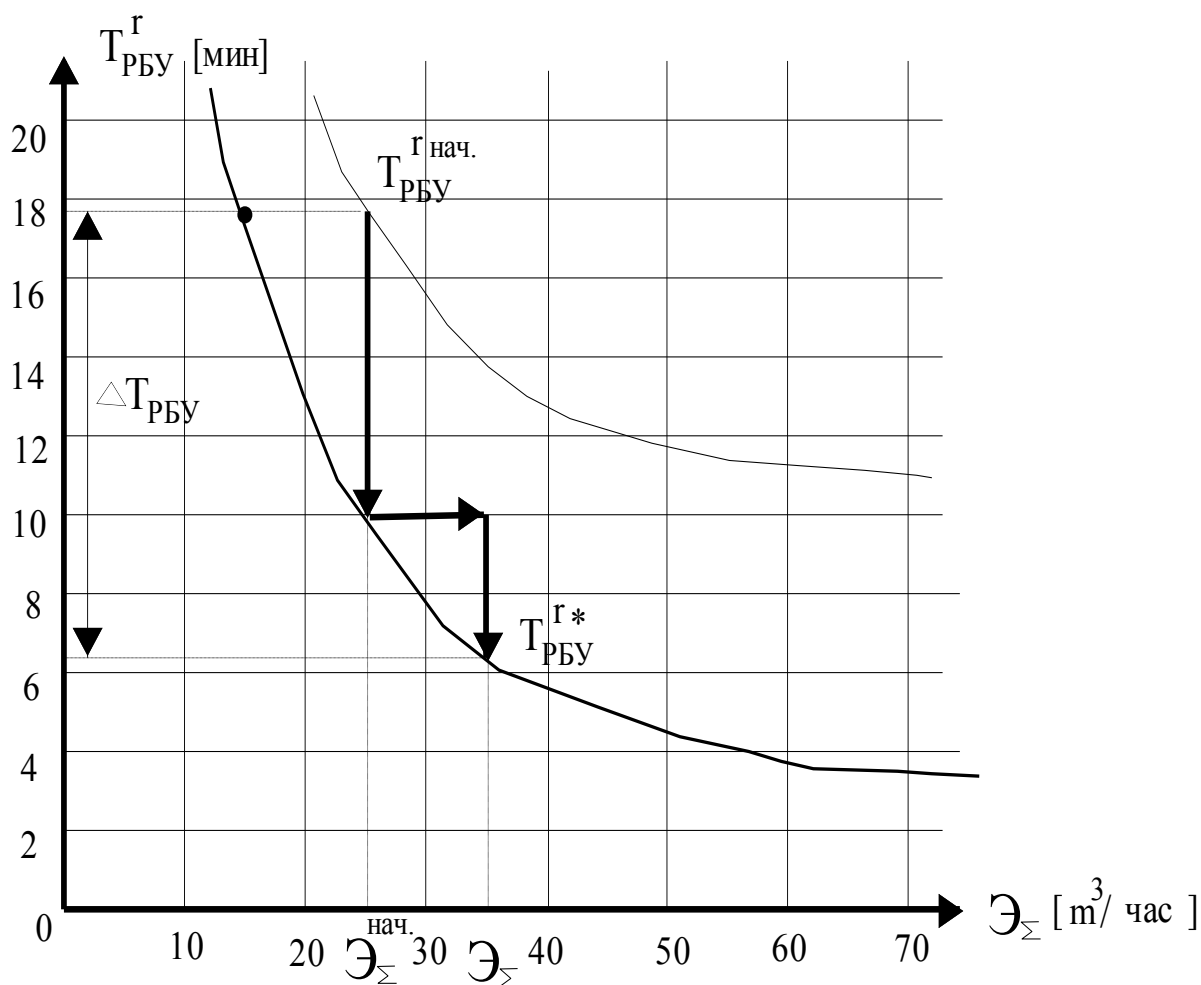


Рис. 5. Задача минимизации среднего времени обслуживания заявок при заданной производительности АБЗ

Проведено сравнение рассмотренного информационно-статистического метода (ИСМ) с поиском глобального экстремума, основанного на случайном переборе начальных точек. Полученные данные подтвердили эффективность метода.

Система комплексного моделирования процессов производства, транспортирования и использования материалов

системы комплексной автоматизации процессов производства, транспортирования и использования материалов и изделий на объекте строительства является сложной задачей, решение которой требует разработки комплекса математических моделей и алгоритмов расчета. Важнейшей задачей организации эффективного функционирования системы является рациональное распределение заявок потребителей по АБЗ [5,6]. Рациональное распределение заявок оптимизирует загрузку заводов, улучшает использование транспортных средств и в значительной степени сокращает производственные издержки.

Для этого требуется найти рациональное распределение заявок потребителей, определения производительности АБЗ с учетом объемно-временных характеристик, определения грузоподъемности автотранспортных средств и их загрузки [7,9]. Пусть исходные данные представлены в следующем виде:

1. $G(N, D)$ – структура системы АБЗ. Множество вершин N описывает все заводы не- которого территориального размещения, а множество дуг D – множество коммуникаций для транспортировки материалов и продукции АБЗ;
2. $P = \|p_{ij}\|$ – матрица начального распределения регулярных заявок потребителей по АБЗ. В этой матрице $p_{ij} = 1$, если j -я заявка распределена на i -й АБЗ, $p_{ij} = 0$ – в противном случае;
3. $Z = \|\lambda_{ijr}\|$ – матрица интенсивностей поступления регулярных заявок r -го приорите- та, от j -го потребителя, $j = \overline{1, M}$ к i -му АБЗ,
4. $\{L_j\}, j = \overline{1, M}$ – множество средних объемов заявок;
5. $\{V_i\}, i = \overline{1, N}$ – множество объемов бункеров АБЗ;
6. $T_{p_{BVi}}^{допр}, r = \overline{1, E}; i = \overline{1, N}$ – множество средних допустимых времен обработки заявок r -го приоритета на i -м АБЗ (с учетом времени движения до объекта);
7. $\{\Theta_i\}, i = \overline{1, N}$ – множество средних производительностей АБЗ;
8. $\{C_k\}, k = \overline{1, K}$ – множество грузоподъемностей транспортных средств, где K - количество типов автотранспортных средств;
9. $\Delta\lambda$ – величина дискретного изменения загрузок транспортных средств;
10. $\{T_{ni}\}, \{T_{нк}\}, i = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}$ – множество средних времен простоя АБЗ и транспортных средств.

Возможны две постановки задачи, заключающиеся в минимизации T_{ABZ}^r при заданной величине суммарной производительности всех АБЗ [10], которые могут быть задейство- ваны при строительстве рассматриваемого объекта (рис.5) Другая постановка заключается в максимизация суммарной производительности этих АБЗ при заданных величинах сред- них допустимых времен обработки заявок по каждому приоритету (рис. 6).

Если выбрать критерием оптимальности среднее время обслуживания заявок на АБЗ, то математическая модель будет иметь следующий вид:

$$T_{ABZ}^r(X^*) = \min_{X \in R_0} T_{ABZ}^r(X) \quad (5)$$

$$R_0 = \left\{ X : \begin{cases} \sum_j L_j^* p_{ij} \leq \Theta_i, \\ 1 \leq \sum_i p_{ij}, p_{ij} \in \{0,1\}, \\ \sum_i \Theta_i = \Theta_\Sigma = const, \\ \sum_k C_k = \Theta_\Sigma, \\ i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}; r = \overline{1, E}; k = \overline{1, K}. \end{cases} \right. \quad (6)$$

Система линейных равенств и неравенств (6), образующих область допустимых решений задачи, показана на следующем рисунке.

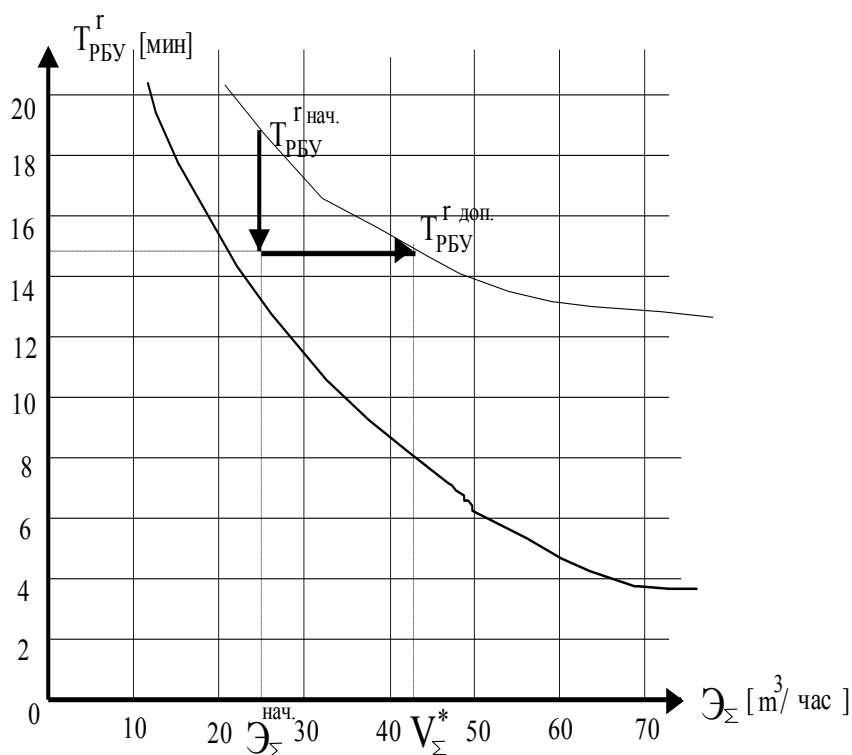


Рис. 6. Задача максимизации суммарной производительности АБЗ при заданных величинах средних допустимых времен обслуживания

Первое и второе ограничения системы формализуют следующее требование. Общий объем заявок, распределенных на i -й АБЗ, $i = \overline{1, N}$, не может превышать существующей производительности АБЗ. Следующее ограничение требует, чтобы каждая заявка потребителя обязательно должна быть закреплена за некоторым АБЗ. Третье и четвертое ограничения говорят о том, что суммарная производительность всех АБЗ величина постоянная, а суммарная грузоподъемность всех автотранспортных средств не может быть мень-

ше величины суммарной производительности всех АБЗ с учетом возможности многократных поездок за смену.

Эти ограничения корректно описывают нормальный режим работы системы АБЗ. Их невыполнение приводит к перегруженности АБЗ и бесконечному времени обслуживания заявок, потребителей, прикрепленных к данному АБЗ.

Для математического описания процессов функционирования АБЗ введем следующие переменные:

T_{ijr} – среднее время выполнения заявки j -го типа r -го приоритета на i -м АБЗ;

W_{ijr} – среднее время простоя автомобилей под погрузку на i -м АБЗ при выполнении j -ой заявки r -го приоритета ($r = \overline{1, E}$). Эта величина зависит от интенсивностей подъезда автомобилей и производительности АБЗ;

W_{cr}, T_{cr} – средние времена ожидания и оформления путевых документов;

T_{zl}, T_{pl} – средние времена загрузки и разгрузки автомобилей l -го типа;

T_{ldr} – среднее время перемещения автомобиля l -го типа по маршруту d до объекта строительства при обслуживании заявки r -го приоритета.

Обозначим $\overline{T_{ijr}}$ – среднее время на обработку заявки j -го типа, поступившей на i -й АБЗ и имеющей приоритет r . Эта величина рассчитывается с учетом времени движения до объекта T_{kr} . Тогда можно записать выражение для T_{ijr} . Оно представляет собой сумму соответствующих случайных величин

$$\overline{T_{ijr}} = T_{ijr} + W_{ijr} + T_{dr} + T_{zl} + T_{pl} + W_{cr} + T_{cr}. \quad (7)$$

Тогда среднее время обслуживания всех заявок можно представить как сумму значений T_{ijr} , взвешенных относительно соответствующих интенсивностей поступления заявок

$$T^r = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda_{ijr} / \lambda_{\Sigma} \cdot T_{ijr} = \sum_{i=1}^N \lambda_{ir} / \lambda_{\Sigma} \cdot T_{ir} \quad (8)$$

В этом выражении λ_{ir} – суммарная интенсивность поступления заявок на i -й АБЗ; λ_{Σ} – суммарная интенсивность поступления заявок от всех потребителей.

Заключение

В работе рассматривается иерархическая двухуровневая система управления параметрической оптимизацией подсистем АБЗ. Предложена последовательная процедура координации, обеспечивающая генерацию решения задачи синтеза параметров АБЗ по критерию пропускной способности АБЗ. Разработана информационная модель пропускной спо-

способности функциональной подсистемы АБЗ, что дало возможность формализовать и решить задачу, стоящую перед управляющими элементами нижнего уровня.

Список литературы

1. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог. Т. 1. М.: Издательский центр «Академия», 2010. С. 33-139.
2. Горелышев Н.В. Технология и организация строительства автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1991. 551 с.
3. Григорьев В.В., Журавлева Н.В., Лукьянова Г.В., Сергеев К.А. Синтез систем управления методом модального управления. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 148 с.
4. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 549 с.
5. Николаев А.Б., Акиншина И.Н., Голубкова В.Б., Юрчик П.Ф. Автоматизация технологических процессов организации работ на протяженных объектах: монография. М.: Техполиграфцентр, 2006. 97 с.
6. Остроух А.В. Автоматизация управления строительным предприятием // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. № 8. С. 58-61.
7. Солодкий А.И., Карпов Б.Н. Календарное планирование строительства и ремонта автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1988. 120 с.
8. Тарасенко Д.С., Остроух А.В. Решение задачи сравнения документов при коллективной разработке проектной документации на строительном предприятии // Вестник Российского нового университета. Сер. Естествознание, математика, информатика. 2007. Вып. 2. С. 112-115.
9. Таха Хемди А. Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. М.: Издат. дом «Вильямс», 2005. 912 с.
10. Тихонов А.Н., Уфимцев М.В. Статистическая обработка результатов эксперимента. М.: МГУ, 1988.
11. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее применение: пер. с англ. В 2 т. Т. 2 / предисл. А.Н. Колмогорова. М.: Мир, 1984. 752 с.

Parametric Optimization of Functional Subsystems of Constructing and Transport Organizations

D.V. Zaytsev^{1,*}, B.V. Sakun¹

info@madi.ru

¹Moscow State Automobile & Road Technical University (MADI), Moscow, Russia

Keywords: asphalt plant, parametric optimization, bandwidth, globally-optimal solutions

The article considers a problem of the parametrical optimization of hierarchical two-level enterprise management system using the asphalt concrete plant (ACP) as an example. The ACP is an ill-structured system a behaviour of which is influenced by a set of external factors that are difficult to take into consideration and exactly describe in many manufacturing situations. The work offers a simplified two-level system structure of ACP. It is shown that such representation of a complicated system is fruitful and allows us to solve some important problems of parametrical optimization.

The authors offer to conduct the parametrical optimization of ACP in the iterative way by consecutive improving some basic plan that is drawn taking into account a distribution of application forms. Using this information the control unit of parametrical optimization process forms the new initial point so that the maximum bandwidth value of a functional subsystem could be received. This process is iterative. It proceeds until the stop condition is fulfilled. Stop condition verification is carried out in the special block. The starting point of this iterative process is set in the block of basic data analysis.

The most important problem of the ACP activity optimization is transportation of materials to the consumers' objects. It should be organized with minimum total costs. The work shows that this task is essentially inhomogeneous and differs in high dimension. Inhomogeneity means that the exact system of restrictions consists of linear and nonlinear equations and inequalities. High dimension means that the system of restrictions includes a large number of equations and inequalities and requires a set of variables for its record. For these reasons, a direct solution of the task using classical methods of mathematical programming becomes often difficult or impossible. Task dimension can be reduced with no loss of its model adequacy through decomposition approach.

The paper considers mathematical tools for systems of computer-integrated manufacturing, transportation, and use of materials and products at the object of construction activity. The offered model allows us to solve the most important problem that is organization of effectively functioning system, i.e. rational distribution of consumers' application forms at the ACP.

References

1. Vasil'ev A.P. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog. T. 1* [Operation of highways. Vol. 1]. Moscow, Publishing Center "Akademiya", 2010, pp. 33-139. (in Russian).
2. Gorelyshev N.V. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog* [Technology and organization of construction of highways]. Moscow, Transport Publ., 1991. 551 p. (in Russian).
3. Grigor'ev V.V., Zhuravleva N.V., Luk'yanova G.V., Sergeev K.A. *Sintez sistem upravleniya metodom modal'nogo upravleniya* [Synthesis of control systems by the modal synthesis method]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2007. 148 p. (in Russian).
4. Miroshnik I.V., Nikiforov V.O., Fradkov A.L. *Nelineynoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami* [Nonlinear and adaptive control of complex dynamic systems]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2000. 549 p. (in Russian).
5. Nikolaev A.B., Akin'shina I.N., Golubkova V.B., Yurchik P.F. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov organizatsii rabot na protyazhennykh ob'ektakh* [Automation of technological processes of organization of work at large construction site]. Moscow, Tekhpolygon Publ., 2006. 97 p. (in Russian).
6. Ostroukh A.V. Automation of construction business management. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika = Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2004, no. 8, pp. 58-61. (in Russian).
7. Solodkiy A.I., Karpov B.N. *Kalendar'noe planirovanie stroitel'stva i remonta avtomobil'nykh dorog* [Scheduling of construction and repair of highways]. Moscow, Transport Publ., 1988. 120 p. (in Russian).
8. Tarasenko D.S., Ostroukh A.V. Solution of problem of comparing documents when collective development of design documentation for the construction company. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Ser. Estestvoznaniye, matematika, informatika*, 2007, no. 2, pp. 112-115. (in Russian).
9. Taha Hamdy A. *Operations Research: An Introduction*. Pearson Prentice Hall, 2003. (Russ. ed.: Taha Hamdy A. *Vvedenie v issledovanie operatsiy*. Moscow, Publishing House "Vil'yams", 2005. 912 p.).
10. Tikhonov A.N., Ufimtsev M.V. *Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta* [Statistical Analysis of Experimental Data]. Moscow, MSU Publ., 1988. (in Russian).
11. Feller W. *An Introduction to Probability Theory and Its Applications. Vol. 2*. John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney, 1966. 626 p. (Russ. ed.: Feller W. *Vvedenie v teoriyu veroyatnostey i ee primeneniye. V 2 t. T. 2*. Moscow, Mir Publ., 1984. 752 p.).