

УДК 519.688

Т.В. Курченкова

АЛГОРИТМ ЭКСПЕРТНОГО ВЫБОРА В ЗАДАЧАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*Воронежский институт высоких технологий,
Воронеж, Россия*

В статье рассматривается применение алгоритма экспертного выбора для решения задач многокритериальной оптимизации сложных систем. На итерациях алгоритма поиска эффективных решений задачи происходит формирование множества допустимых альтернатив, которое затем служит исходным для дальнейших операций выбора. Построение решения для задач многокритериальной оптимизации является трудоемким. Рассматриваемый класс подзадач относится к NP-полным. Поиск решения представляет итерационный процесс, на каждом шаге которого выполняется три этапа поиска. Они включают сужение исходного множества альтернатив решений различными известными методами. К таким методам относится генерация Парето-оптимального множества, на котором впоследствии применяется алгоритм экспертного выбора. Эксперты указывают предпочтения на множестве критериев поставленной задачи. Строится вектор весов критериев, который применяется для оценивания эффективности решений и сужения множества Парето. Привлечение экспертов на итерациях алгоритма достаточно трудоемкий процесс, поэтому необходимо формализовать правила, по которым определяется такая необходимость. Предлагается учитывать изменение значения отклонения оценок решений по функции максимального правдоподобия на итерациях. Предпочтения экспертов на итерациях алгоритма могут изменяться. При увеличении показателя отклонения оценок решений при поиске выше критического, задаваемого лицом, принимающим решения, предлагается привлекать экспертов к оцениванию важности критериев поставленной задачи. На первом шаге алгоритма такая необходимость также существует. Рассматривается задача планирования операций и показывается эффективность ее решения с использованием подхода, описываемого предложенным алгоритмом. Построены кривые зависимостей количества альтернатив с применением третьего этапа алгоритма и без его применения на этапах поиска. Сравнение этих кривых позволяет сделать вывод об эффективности использования алгоритма экспертного выбора на базе экстраполяции экспертных оценок по функции максимального правдоподобия для многокритериальной оптимизации сложных систем.

Ключевые слова: алгоритм экспертного выбора, многокритериальная оптимизация, планирование операций, сложные системы

Введение

На производственных предприятиях, в образовательных организациях и в других различных учреждениях часто возникает необходимость в составлении календарных планов. Распределение

операций во времени с учетом ограниченности ресурсов и множества критериев, является трудоемкой задачей.

С позиций системного подхода, любая организация представима как сложная система, а задачу планирования можно формализовать в виде многокритериальной модели. В качестве параметров в данной модели – множества ограниченных ресурсов для планирования. Необходимо распределить данные ресурсы по интервалам планирования с учетом ограничений и критериев задачи.

Задачи планирования операций являются трудоемкими в реализации, поскольку нахождение оптимальных решений, включающих сочетания ресурсов для планирования, по большому количеству разнородных критериев можно отнести к классу NP-полных задач.

Для поиска лучших решений многокритериальных задач существует ряд известных алгоритмов [1-6]. Все они трудоемки в реализации и требуют большого количества машинного времени.

В численных схемах многокритериальной оптимизации данные множества вариантов для выбора часто имеют большую размерность. При реализации алгоритмов в рамках решения задачи на ЭВМ, время поиска решений, удовлетворяющих условиям выбора, является существенным фактором, который необходимо учитывать. Для уменьшения мощности множеств выбора часто применяются различные модели, которые могут обеспечить уменьшение размерности на каждом шаге поиска и выделения подмножества из множества решений.

Целью настоящего исследования является разработка алгоритма экспертного выбора (АЭВ) на базе экстраполяции экспертных оценок, предназначенного для поиска решений задач многокритериальной оптимизации, позволяющего получать эффективные решения для множества сложных систем.

Алгоритм экспертного выбора на базе экстраполяции экспертных оценок

Пусть исходное множество вариантов решений задачи, удовлетворяющих ограничениям можно записать в виде:

$$R = \bigcup_{j=1}^Z R^j : \forall j_1, j_2 : R^{j_1} \cap R^{j_2} = \emptyset, \quad \text{где} \quad \forall j_1, j_2 = \overline{1..Z} \quad - \quad \text{переменные,}$$

отвечающие за порядковый номер операции в процессе, планирование которого задается решением задачи; R^j – вектор, который однозначно задает вид операции, ее количественные и качественные характеристики.

Процесс построения решения R можно сформулировать, как процесс получения подмножества R^j для каждого шага поиска $j = \overline{1..Z}$.

В рамках системного подхода, получение R^j можно описать как

итерационный процесс, на каждом шаге которого происходит несколько этапов выбора подмножества решений (рисунок 1). Рассмотрим каждую итерацию выбора. Она представима в виде трех последовательных этапов. Дадим описание каждому из них.

Первый этап представляет собой получение подмножества решений на каждом шаге, допустимых с точки зрения выполнения ограничений исходной задачи. Вторым этапом – выделение Парето-оптимального множества решений из сформированного на первом этапе по заданным критериям задачи. Третьим этапом включает отсев решений, полученных на втором этапе с помощью алгоритма экспертного выбора (АЭВ) на базе экстраполяции экспертных оценок по функции максимального правдоподобия с целью получения множества допустимой размерности.

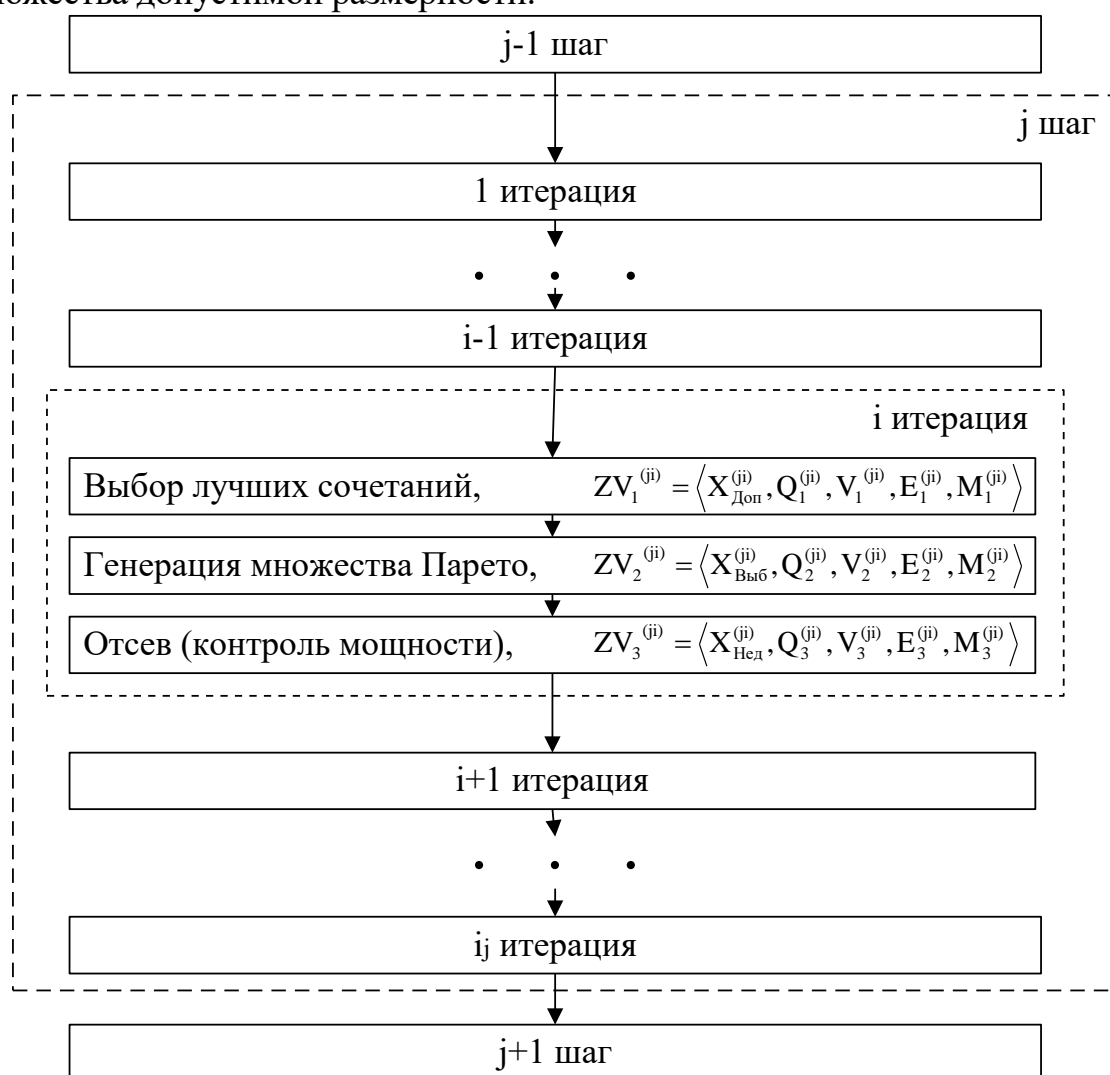


Рисунок 1 - Решение задачи выбора на итерациях j-го шага

Запишем общий вид модели для задачи поиска множества решений для каждого шага поиска:

$$ZV^{(ji)} = \langle X^{(ji)}, Q^{(ji)}, V^{(ji)}, E^{(ji)}, C^{(ji)} \rangle.$$

Здесь j – номер рассматриваемого этапа; i – номер итерации выполнения; $X^{(ji)}$ – множество решений, которое является исходным для каждого шага текущей итерации и предьявляется для поиска решений на нем; $Q^{(ji)}$ – вектор, характеризующий показатели качества получаемых решений; $V^{(ji)}, E^{(ji)}$ – набор характеристик, задающих специфические свойства общей модели задачи планирования; $C^{(ji)}$ – функция выбора. Подробнее общая модель задачи планирования операций рассмотрена в [1, 2]. Учитывая наборы свойств операции $V^{(ji)}, E^{(ji)}$ требуется синтезировать механизм выбора $M^{(ji)}$, который будет определять соответствующую функцию $C^{(ji)}$.

Пусть X^* – подмножество, задающее решения задачи после реализации процедуры отсева для каждой итерации алгоритма. Тогда процесс формирования результирующего множества $X^{*(ji)}$ из исходного на каждом этапе $X^{(ji)}$ – поэтапное преобразование, сужение множества $X^{(ji)} : X^{(ji)} \rightarrow X_{\text{Доп}}^{(ji)} \rightarrow X_{\text{Выб}}^{(ji)} \rightarrow X_{\text{Нед}}^{(ji)} \rightarrow X^{*(ji)}$. Здесь $X_{\text{Доп}}^{(ji)}$ – входное, допустимое с точки зрения ограничений множество рассматриваемых решений для выбора на i -й итерации j -го шага поиска, $X_{\text{Доп}}^{(ji)} \subseteq X^{(ji)}$; $X_{\text{Выб}}^{(ji)}$ – множество альтернатив, сочетающих необходимые для реализации планируемой операции параметры. $X_{\text{Выб}}^{(ji)} \subseteq X_{\text{Доп}}^{(ji)}$. $X_{\text{Нед}}^{(ji)}$ – множество недоминируемых альтернатив решений, $X_{\text{Нед}}^{(ji)} \subseteq X_{\text{Выб}}^{(ji)}$.

Рассмотрим более подробно порядок получения входных и выходных множеств алгоритма решения задачи выбора на каждой итерации поиска, реализующий АЭВ, представленный на рисунке 1.

$Q_1^{(ji)} = Q = (q_1, \dots, q_p)$ – вектор критериев задачи планирования операций, характеризующий показатели качества получаемых решений. Для реализации выбора, группе экспертов необходимо определить свои предпочтения в приоритетах очередности выбора критериев. Обозначим $\varepsilon = \overline{1, E}$, где E – число экспертов, принимающих участие в определении весов критериев вектора $Q_1^{(ji)}$. Результатом оценивания приоритетов экспертами является совокупность:

$$\overline{b}^\varepsilon = (b_1^\varepsilon, \dots, b_p^\varepsilon), \quad \varepsilon = \overline{1, E}.$$

Каждый элемент вектора $b_p^\varepsilon = 1, \dots, P$ хранит значение веса критерия, который эксперт ε поставил в соответствие критерию q_p . В соответствии с алгоритмом, большее значение веса соответствует более приоритетному для выбора решению и в первую очередь учитывается критерий с данным весом с

точки зрения эксперта ε .

$$\text{Пусть } \bar{c} = (c_1, \dots, c_p), c_p = \sum_{e=1}^{\varepsilon} b_p^e, p = \overline{1, P}.$$

Упорядочим в порядке возрастания элементы векторов критериев Q и векторов значений коэффициентов, соответствующих этим критериям. Результат – векторы $Q = (q_1, \dots, q_p)$ и $\bar{d} = (d_1, \dots, d_p)$, $d_i = c_j, (i, j = \overline{1, P})$.

Совокупность критериев $Q = (q_1, \dots, q_p)$ включает в себя $N \leq P$ векторов показателей качества с одинаковыми коэффициентами d_p .

Т.е. каждому $Q = (Q^1, \dots, Q^n, \dots, Q^N)$ соответствует $D = (D^1, \dots, D^n, \dots, D^N)$, где

$$D^n = (d_1^n, \dots, d_{K_n}^n), n = \overline{1, N}, K_n \in \overline{1, P}, \text{ где } d_1^n = d_2^n = \dots = d_{K_n}^n,$$
$$Q^n = (q_1^n, \dots, q_{K_n}^n).$$

Алгоритм формирования $X_{\text{выб}}^{(ji)}$ из $X_{\text{доп}}^{(ji)}$ представим, как итерационный процесс, на каждом шаге которого из совокупности групп критериев Q^n выбирается множество решений. Число выполняемых итераций определяется числом групп N . Рассмотрим алгоритм выполнения n -й итерации. Он представлен на рисунке 2 и описывается в виде следующих шагов:

1. инициализация переменной n ;
2. формирование множества для выбора в соответствии с ограничениями задачи (синтез сочетаний параметров, соответствующих Q^n);
3. применение скалярного оптимизационного механизма выбора M_{Skal} или M'_{Extra} [3, 4] (выбор механизма зависит от размерности вектора критериев Q^n);
4. переход на второй шаг алгоритма в случае, если остались не обработанные группы Q^n или выход из алгоритма.

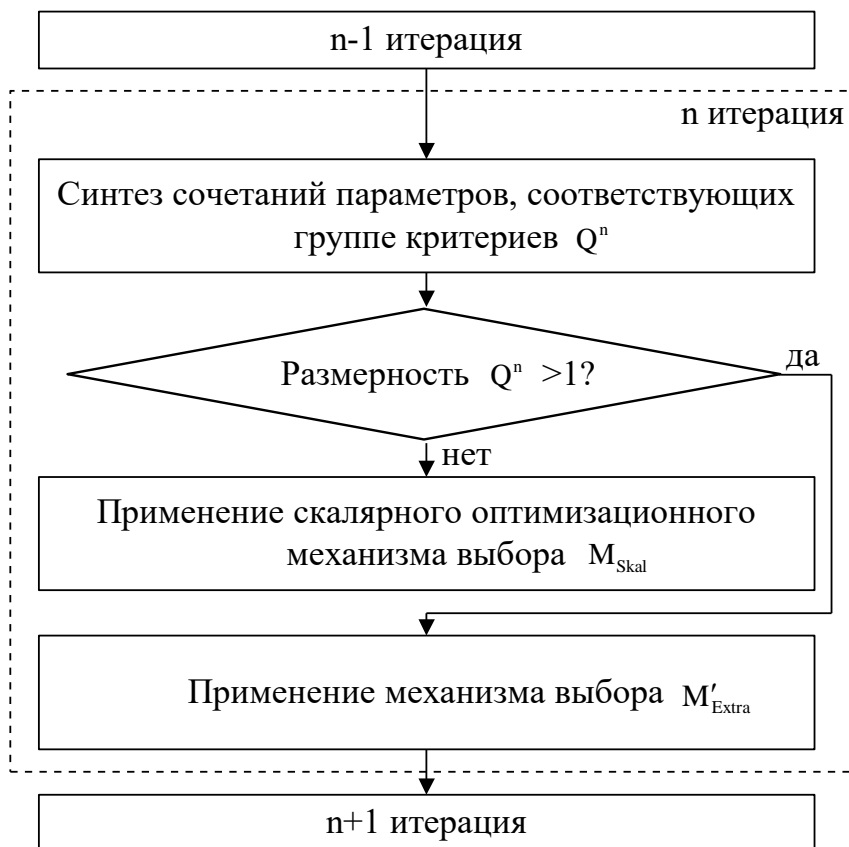


Рисунок 2 - Схема итерационного процесса

В результате поиска решения $ZV_1^{(ji)}$ на шагах алгоритма получаем набор решений $X^{(ji)}_{\text{Выб}}$ и применяем на нем известный алгоритм выделения оптимального по Парето множества [4, 5] для получения $X^{(ji)}_{\text{Нед}}$. Подробно он описан в [4].

Полученное в результате множество $X^{(ji)}_{\text{Нед}}$ является необозримым для лица, принимающего решения (ЛПР).

Для получения решений из сформированного на предыдущем этапе $X^{(ji)}_{\text{Нед}}$ и уменьшения его мощности целесообразно применять АЭВ на базе экстраполяции экспертных оценок по функции максимального правдоподобия (ФМП) [3, 5, 6].

Поясним его работу.

Рассматриваемый алгоритм состоит из шагов: формирование выборки $Y \subset X^{(ji)}_{\text{Нед}}$ решений; опрос на полученном подмножестве экспертов для получения информации об их предпочтениях; на основе полученной информации формирование $M_3^{(ji)} = \langle \sigma''', \pi''' \rangle$ – механизма выбора; получение выборки лучших из множества решений $X^{(ji)}_{\text{Нед}}$ с помощью механизма выбора: $X^{*(ji)} \subset X^{(ji)}_{\text{Нед}}$.

Выполнение рассмотренного алгоритма АЭВ на итерациях поиска можно применять для каждого шага, а возможно привлечение экспертов только на тех шагах, где возникает для этого необходимость. В этом случае время выполнения алгоритма на таком шаге существенно сокращается, поскольку для такой итерации будет выполнен только один последний шаг алгоритма (получение $X_{\text{Нед}}^{(ji)}$ с помощью уже сгенерированного на предыдущих итерациях механизма выбора $M_3^{(ji)} = \langle \sigma''', \pi''' \rangle$).

Возникает вопрос определения необходимости работы с экспертами для оценивания критериев выборки на итерациях алгоритма. Для его решения предлагается использовать нижеследующую схему.

Обозначим

$$\zeta^{(ji)} = \begin{cases} 1, & \text{если привлечены эксперты для синтеза } M_3^{(ji)} \\ & \text{на } i\text{-й итерации } j\text{-го шага необходимо,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пусть результатом выполнения выбора при помощи $M_3^{(ji)}$ на множестве $X_{\text{Нед}}^{(ji)}$ является подмножество вариантов решений $X^{*(ji)} \subset X_{\text{Нед}}^{(ji)}$.

Обозначим:

$$\omega_{\min}^{(ji)} = \min_{x \in X^{*(ji)}_{\text{Пар}}} (f(x)),$$

$$\omega_{\max}^{(ji)} = \max_{x \in X^{*(ji)}_{\text{Пар}}} (f(x)),$$

где $f(x)$ - функция, применяемая для выбора решений $M_3^{(ji)}$.

$$\text{Пусть } \Lambda_{\omega}^{(ji)} = \left| \omega_{\max}^{(ji)} - \omega_{\min}^{(ji)} \right|.$$

Предположим, что функция максимального правдоподобия для механизма выбора определялась на i' итерации j' шага.

Пусть текущая итерация с номером i для j -го шага ($j \geq j'$, при $j = j'$: $i > i'$). Для нее вычисляются значения величин $\omega_{\min}^{(ji)}$, $\omega_{\max}^{(ji)}$, $\Lambda_{\omega}^{(ji)}$.

Запишем условие привлечения экспертов на шагах поиска:

$$\zeta^{(ji)} = \left(\left(\Lambda_{\omega}^{(ji)} > \Lambda_{\omega}^{(j'i')} \right) \vee \left(\omega_{\min}^{(ji)} < \omega_{\min}^{(j'i')} \right) \right) \wedge (j \neq j').$$

Данное условие учитывает увеличение отклонения оценок решений по ФМП и определяется также тем, что на каждой следующей итерации предпочтения экспертов для формирования ФМП могут изменяться. На первом же шаге алгоритма для $M_3^{(11)}$: $\zeta^{(11)} = 1$.

Схема представленного алгоритма определения необходимости привлечения экспертов на i -й итерации j -го шага для выполнения АЭВ представлена на рисунке 3.

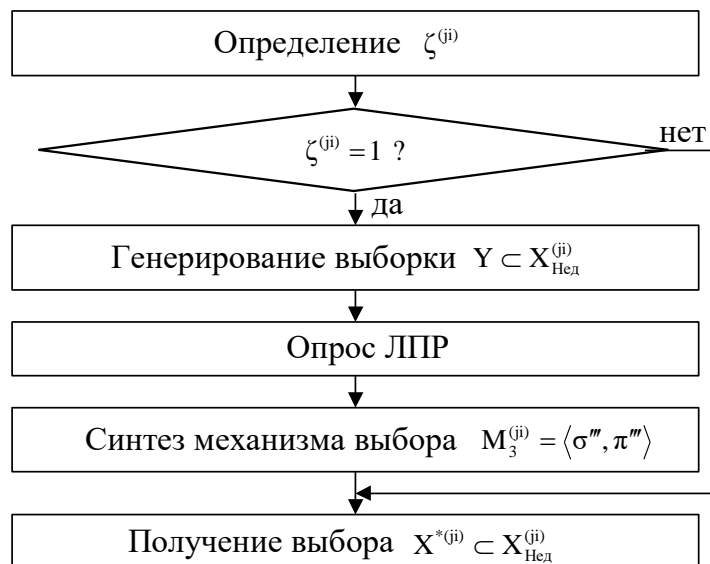


Рисунок 3 - Схема АЭВ i-й итерации j-го шага

В задачах планирования операций привлечение ЛПР для формирования предпочтений при выборе решений позволяет существенно улучшить характеристики получаемых вариантов решений, а также производить корректировку при поиске и выборе из множества вариантов. Но привлечение экспертов на каждой итерации алгоритма является очень трудоемким и существенно замедлит ход выполнения алгоритма и решение задачи в целом. Поэтому предлагается реализовать данный этап не на каждом шаге алгоритма, а выборочно, по мере возникновения необходимости.

Результаты

Предложенная модель была реализована на примере решения задачи планирования операций в рамках многокритериальной модели построения расписания. Было разработано программное приложение и проведен численный эксперимент, в ходе которого получены представленные на рисунке 4 графики.

Необходимо было составить план выполнения операций, удовлетворяющий ограничениям многокритериальной задачи. Начальное количество операций для планирования: 194. Операции могут быть расставлены в любом порядке с учетом ограничений задачи. Временных промежутков для расстановки технологических операций: 22.

На рисунке 4 представлены графики, характеризующие выполнение вышеописанного алгоритма на итерациях. По горизонтальной оси отмечено количество пройденных шагов алгоритма. Вертикальная ось характеризует количество альтернативных вариантов решений, приемлемых для расстановки с применением АЭВ и без его применения.

Кривая, отвечающая применению АЭВ на шагах поиска, характеризует меньшую мощность множества операций планирования на каждом шаге поиска, что показывает эффективность его применения.

Необходимость экспертного оценивания в соответствии с выполнением условия необходимости привлечения экспертов в процессе реализации алгоритма возникала на шагах 1, 4, 12, 18.

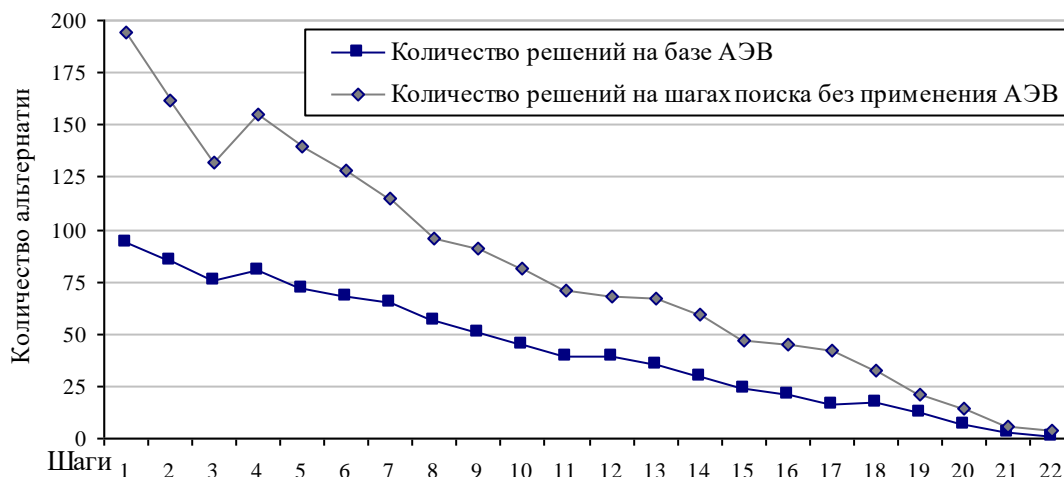


Рисунок 4 – Количество вариантов решений после сужения на итерациях поиска

Заключение

В процессе решения задачи был реализован алгоритм АЭВ. Привлечение экспертов на его шагах позволяет получать более эффективные решения, чем без использования экспертного выбора.

Разработанный алгоритм может быть использован для решения различных задач многокритериальной оптимизации сложных систем [1, 7, 8]. Он применим для составления расписаний, календарных планов в любых учреждениях и центрах, где это необходимо. В их число входят образовательные, медицинские и другие организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курченкова Т.В. Информационная технология в задаче планирования расписаний действий производственно-экономических систем / Т.В. Курченкова, Д.В. Сысоев, О.В. Курипта // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011. –Т. 7. –№ 4. – С. 127-129.
2. Курченкова Т.В. Модель поставок продукции производственно – экономической системы / Т.В. Курченкова, О.Ю. Лавлинская // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2014. № 4 (7). С. 18.
3. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации / С.В. Белокуров, Ю.В. Бугаев, С.А. Максина, Ю.С. Сербулов, С.В. Чикуннов. – Воронеж: Изд-во “Научная книга”, 2005. – 199 с.

4. Сербулов Ю.С. К вопросу выбора решений в численных схемах многокритериальной оптимизации / Сербулов Ю.С., Курченкова Т.В., Курченков О.А. // Теория конфликта и ее приложения: Материалы V-й Всероссийской научно-технической конференции. Часть I / Сост. И. Я. Львович, Ю. С. Сербулов; АНОО ВПО ВИВТ; РосНОУ (ВФ). – Воронеж: Научная книга, 2008. – С. 273-274.
5. Сысоев В.В. Принятие решений в многокритериальных задачах. / В.В. Сысоев, А.А. Кадет. – Воронеж: ВТИ, 1982; деп. в ВИНТИ 1982, N 416 – 82 с.
6. Величко С. В. Математические модели принятия решений выбора и распределения ресурсов в информационных системах управления / С.В. Величко, С.А. Редкозубов, Ю.С. Сербулов // Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. – 218 с.
7. Акамсина Н.В. Метод и алгоритм оптимальной декомпозиции сложных систем / Н.В. Акамсина, О.А. Коновалов, А.В. Лемешкин // Экономика и менеджмент систем управления, 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73-80.
8. Лавлинская О.Ю. Модели принятия решений в задаче синтеза учебного плана / О.Ю. Лавлинская, Т.В. Курченкова // Вестник Воронежского института МВД России, 2009. –№ 1. – С. 136-143.

T.V. Kurchenkova

ALGORITHM OF THE EXPERT CHOICE IN TASKS OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF COMPLEX SYSTEMS

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

Algorithm of the expert choice for the solution of problems of multicriteria optimization of the complex systems is considered. On iterations of an algorithm of search of effective solutions of a task there is a formation of a set of admissible alternatives which then serves as initial for further operations of the choice. Creation of the decision for tasks of multicriteria optimization a difficult problem. Is considered class of subtasks belongs to NP full. Search of the decision represents iterative process; each step contains three stages of search. They include narrowing of an initial set of alternatives by various known methods. Generation of the Pareto-optimal set belongs to such methods. On him the algorithm of the expert choice is applied subsequently. Experts specify preferences on a set of criteria of an objective. The vector of scales of criteria which is applied to estimation of efficiency of decisions and narrowing of a great number of Pareto is under construction. Involvement of experts on iterations of an algorithm rather labor-intensive process therefore it is necessary to formalize rules by which such need is determined. It is offered to consider change of value of a deviation of estimates of decisions on function of maximum likelihood on iterations. Preferences of experts on iterations of an algorithm can change. At increase in an indicator of a deviation of estimates of decisions by search above critical, set by the person who make decisions it is offered to involve experts in estimation of importance of criteria of an objective. On the first step of an algorithm such need also exists. The task of planning of operations is

considered. Is shown the efficiency of her decision with use of the approach described by the offered algorithm. Curves of dependences of quantity of alternatives with application of the third stage of an algorithm and without its application at search stages are constructed. Comparison of these curves allows to draw a conclusion on efficiency of use of an algorithm of the expert choice on the basis of extrapolation of expert estimates on function of maximum likelihood for a multicriteria optimization of the complex systems.

Keywords: algorithm of the expert choice, multicriteria optimization, planning of operations, complex systems

REFERENCES

1. Kurchenkova T.V. Informatsionnaya tekhnologiya v zadache planirovaniya raspisaniy deystviy proizvodstvenno-ekonomicheskikh sistem / T.V. Kurchenkova, D.V. Sysoev, O.V. Kuripta // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011. –Vol. 7. –No. 4. – pp. 127-129.
2. Kurchenkova T.V. Model' postavok produktsii proizvodstvenno – ekonomicheskoy sistemy / T.V. Kurchenkova, O.Yu. Lavlinskaya // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii, 2014. No. 4 (7). p. 18.
3. Modeli vybora nedominiruemykh variantov v chislennykh skhemakh mnogokriterial'noy optimizatsii / S.V. Belokurov, Yu.V. Bugaev, S.A. Maksina, Yu.S. Serbulov, S.V. Chikunov. – Voronezh: Izd-vo “Nauchnaya kniga”, 2005. – 199 p.
4. Serbulov Yu.S. K voprosu vybora resheniy v chislennykh skhemakh mnogokriterial'noy optimizatsii / Serbulov Yu.S., Kurchenkova T.V., Kurchenkov O.A. // Teoriya konflikta i ee prilozheniya: Materialy V-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Chast' I / SosVol. I. Ya. L'vovich, Yu. S. Serbulov; ANOO VPO VIVT; RosNOU (VF). – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – pp. 273-274.
5. Sysoev V.V. Prinyatie resheniy v mnogokriterial'nykh zadachakh. / V.V. Sysoev, A.A. KadeVol. – Voronezh: VTI, 1982; dep. v VINITI 1982, N 416 – 82 p.
6. Velichko S. V. Matematicheskie modeli prinyatiya resheniy vybora i raspredeleniya resursov v informatsionnykh sistemakh upravleniya / S.V. Velichko, S.A. Redkozubov, Yu.S. Serbulov // Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 2004. – 218 p.
7. Akamsina N.V. Metod i algoritm optimal'noy dekompozitsii slozhnykh sistem / N.V. Akamsina, O.A. Konovalov, A.V. Lemeshkin // Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya, 2016. – Vol. 19. – No. 1. – pp. 73-80.
8. Lavlinskaya O.Yu. Modeli prinyatiya resheniy v zadache sinteza uchebnogo plana / O.Yu. Lavlinskaya, T.V. Kurchenkova // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii, 2009. –No. 1. – pp. 136-143.

