

УДК 519.812.3

Т.А. Колпакова, А.А. Олейник

Запорозький національний технічний університет, Запорозьє

## МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ЗАКАЗА МЕЖДУ КОНКУРИРУЮЩИМИ АГЕНТАМИ

В работе предложен метод оптимизации распределения объема заказа между конкурирующими агентами, который учитывает относительные коэффициенты важности критериев, по которым производится оптимизация. Разработанный метод позволяет оптимально распределить объем между несколькими агентами, минимизировать затраты и избежать возможных задержек в поставках. Данный метод предполагается использовать при решении практических задач выбора конкурирующих агентов, в которых участники предлагают равнозначные альтернативы (товары или услуги).

**Ключевые слова:** оптимизация, распределение объема, критерий оптимальности, относительные приоритеты критериев.

### Введение

При решении практических задач после выбора конкурирующих агентов могут возникнуть изменения требований, неприемлемые для агента или лица, принимающего решение. В таких случаях следует обратиться к следующему по рейтингу агенту или проводить повторное оценивание с учетом новых условий. Чтобы избежать подобных ситуаций, организаторы все чаще предпочитают выбирать не одного, а сразу нескольких агентов (чаще всего 2 – 3). Еще на этапе проведения оценивания можно предусмотреть, как распределить весь необходимый объем заказа между некоторым числом агентов  $Z$ . Это возможно только в том случае, если рассматриваемые агенты сходны по значениям качественных критериев. В настоящее время механизм распределения заказа основан на решении задачи оптимального планирования при задании целевой функции  $f : U = u_i, i = 1..Z$  по одному критерию, выбранному наиболее важным: максимум прибыли, минимум расходов, максимум объема продукции, минимум затрат ресурсов и т.д.

Однако, производя оптимизацию только по одному критерию, можно получить проигрыш по некоторому другому, ненамного менее важному параметру, что не позволит считать решение задачи оптимизации успешным. Очевидно, что при оптимизации следует учитывать не менее двух критериев, поддающихся количественному измерению.

Целью настоящей работы является создание метода оптимизации распределения объема заказа между конкурирующими агентами.

### Анализ задачи распределения объема заказа с учетом важности критериев

Оптимизация должна производиться по количественным параметрам, исходя из положения, что все

параметры, определяющие решение, ограничения и целевая функция количественно измеримы. При решении практических задач в качестве таких параметров чаще всего используют денежные затраты и сроки исполнения. Если заказчик желает заключить контракт не с одним, а сразу с  $i$  агентами, то задачу оптимизации распределения объема всего заказа  $U$  между несколькими агентами можно представить в виде  $\Psi_{opt}$  задачи минимизации суммы всех затрат  $P$  частей заказа  $u_i$ , а также минимизации времени  $\Delta t_i$ , необходимого для выполнения заказа. При этом следует учитывать относительные приоритеты критериев стоимости и времени исполнения заказа, определенные на основе экспертных оценок в процессе оценивания конкурирующих агентов.

В графическом виде задача поиска оптимального распределения заказа между двумя агентами может быть представлена распределением, приведенным на рис. 1.

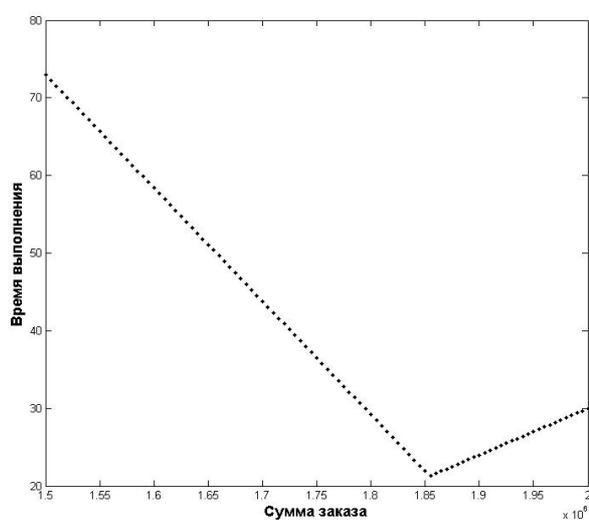


Рис. 1. Варианты распределения объема заказа между двумя агентами

Задача поиска оптимального распределения заказа между тремя агентами представлена распределением, приведенным на рис. 2. Учитывая возможные ограничения, которые агент может наложить на минимальный объем заказа, который он согласен выполнить в рамках одной задачи, проведение оптимизации более чем для трех агентов может оказаться неэффективным и не рассматривается в данной статье.

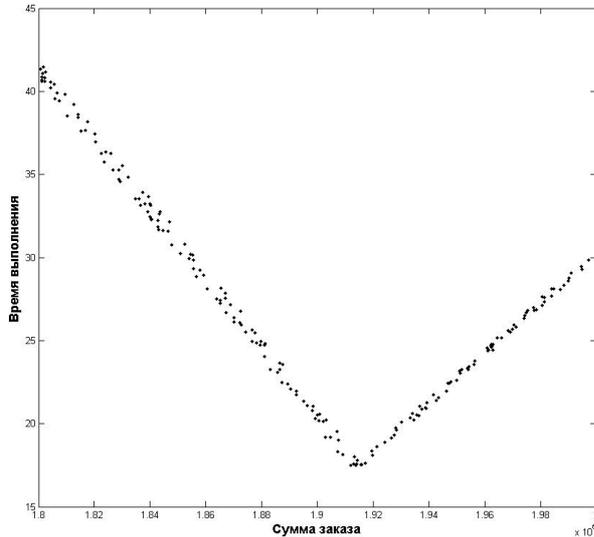


Рис. 2. Варианты распределения объема заказа между тремя агентами

В данном случае, если агенты будут выполнять поставку товаров или услуг одновременно, общее время выполнения полного объема заказа будет равно максимальному из заявленных периодов времени:

$$\Psi_{opt} = \min_{\Omega} \Phi,$$

$$\Phi = \{\Phi_k \mid k = 1..2\},$$

$$\Phi_1 = \sum_i u_i P_i,$$

$$\Phi_2 = \max_i \Delta t_i,$$

$$\Omega : U = \sum_i u_i,$$

где  $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2)$  – векторный критерий оптимальности;

$\Phi_k$  – частные критерии оптимальности.

Поиск оптимального распределения является итерационным процессом перебора на некотором дискретном множестве вариантов решений. При поиске оптимального решения показателем положительного результата итерации является то, что относительный уровень снижения качества по одному частному критерию не превосходит относительного уровня повышения качества по другому частному критерию.

### Учет важности критериев при решении задачи оптимизации

Поскольку в процессе выбора конкурирующих агентов определяется, что одни критерии важнее других, следует определить относительные приоритеты критериев стоимости и времени исполнения заказа  $d_k$ , причем должно выполняться следующее условие:

$$\sum_k d_k = 1.$$

Пусть существуют решения  $Y_a$  и  $Y_b$ , представляющие собой способы распределения объема заказа  $U$  на части  $u_i$ .

Мера относительного изменения (снижения или повышения) качества решения при переходе от решения  $Y_a$  к  $Y_b$  по каждому из критериев может быть определена по формуле:

$$\Delta \tilde{\Phi}_k(Y_a, Y_b) = \frac{\Delta \Phi_k(Y_a, Y_b)}{\left| \max_{Y \in \{Y_a, Y_b\}} \Phi_k \right|},$$

где  $\Delta \Phi_k(Y_a, Y_b) = \Phi_k(Y_a) - \Phi_k(Y_b)$  – абсолютные изменения значений частных критериев оптимальности при переходе от решения  $Y_a$  к решению  $Y_b$ .

Максимальное снижение качества решения при переходе от решения  $Y_a$  к решению  $Y_b$  определяется по формуле:

$$\Delta \tilde{\Phi}_{min}(Y_a, Y_b) = \min_k d_k \cdot \Delta \tilde{\Phi}_k(Y_a, Y_b).$$

Аналогично максимальное повышение качества решения при переходе от решения  $Y_a$  к решению  $Y_b$  составляет:

$$\Delta \tilde{\Phi}_{max}(Y_a, Y_b) = \max_k d_k \cdot \Delta \tilde{\Phi}_k(Y_a, Y_b).$$

Решение  $Y_b$  превосходит решение  $Y_a$  ( $Y_b \succ Y_a$ ), если выполняется условие:

$$|\Delta \tilde{\Phi}_{max}(Y_a, Y_b)| > |\Delta \tilde{\Phi}_{min}(Y_a, Y_b)|.$$

И, соответственно, решение  $Y_a$  превосходит решение  $Y_b$  ( $Y_a \succ Y_b$ ) при:

$$|\Delta \tilde{\Phi}_{max}(Y_a, Y_b)| \leq |\Delta \tilde{\Phi}_{min}(Y_a, Y_b)|.$$

Выбор начального решения может быть произведен случайным образом. Однако следует также учесть, что агент может ограничить минимальный объем, который он согласен поставить в рамках одного контракта. Значение части объема заказа  $u_i$  для каждого агента следует обговорить дополнительно еще на этапе оценивания.

Таким образом, процесс оптимизации с учетом коэффициентов важности критериев можно представить в виде следующих этапов:

- на первой итерации  $r=1$  выбирается начальное решение задачи распределения  $Y_0$ . Затем вычисляются значения частных критериев оптимальности  $\Phi_k$  для выбранного решения  $Y_0$ ;

– некоторым способом выбирается решение задачи распределения  $Y_t$  и вычисляются значения частных критериев оптимальности  $\Phi_k$  для решения  $Y_t$ ;

– определяется превосходящее решение  $Y_t$ . Если условие окончания поиска выполнено, то вычисления следует прекратить, а решение  $Y_t$  принять за приближенное решение задачи. В противном случае, следует положить  $Y_0 = Y_t$ , перейти к предыдущему этапу и повторить процесс выбора и сравнения.

В качестве условия окончания поиска может быть использовано достижение предварительно заданного количества итераций, либо окончание полного перебора дискретного множества возможных решений  $Y_s$ .

Окончательное решение  $Y_t$  будет содержать приближенное значение оптимального распределения объема заказа  $U$  на  $i$  частей  $u_i$ .

### Экспериментальное исследование эффективности разработанного метода

Для экспериментального исследования эффективности разработанного метода была рассмотрена задача выбора поставщика силовых кабелей для крупного промышленного объекта из трех альтернативных вариантов.

Для решения задачи использовались данные, основанные на тендерных заданиях, предложениях участников и результатах тендеров, проводимых проектными компаниями ООО «Инженерные системы» и «ВСТ», а также оценки приглашенных экспертов. Оценка производилась на основе количественных критериев «Стоимость заказа», «Срок поставки».

Экспертами был сформирован следующий рейтинг:

- Завод «Энергопром» – 34,47%;
- ООО «КОРТ» – 33,91%;
- КРОК ГТ – 31,62%.

Очевидно, что оценки, полученные агентами, достаточно близки между собой. Поскольку участники поставляют одинаковый тип продукции, можно ускорить процесс выполнения заказа, распределив весь необходимый объем поставки в 1137 м между участниками. При этом известно, что поставщики не накладывают существенных ограничений на объем поставок.

После проведения предварительного отбора, на основе анализа без учета разработанного метода, эксперты остановились на двух участниках: «Энергопром» и ООО «КОРТ».

Для оценивания участников принимались во внимание критерии «Стоимость заказа» и «Срок исполнения».

Коэффициенты относительных приоритетов критериев были определены в ходе опроса экспертов и составляют:

– приоритет критерия «Стоимость заказа»  $d_p = 0,54$ ;

– приоритет критерия «Срок исполнения»  $d_t = 0,46$ .

Анализ возможных вариантов распределения объема заказа между двумя выбранными поставщиками в тендере (рис. 3) показывает, что наилучшим решением станет заключение контракта на 41% заказа (466 м кабеля) с подрядчиком «Энергопром», и на 59% заказа (671 м кабеля) с подрядчиком ООО «КОРТ».

#### Результат распределения объема заказа для двух участников

Срок выполнения = 12.3900

Стоимость заказа = 374 160

Доля 1 участника = 0.4100

Доля 2 участника = 0.5900

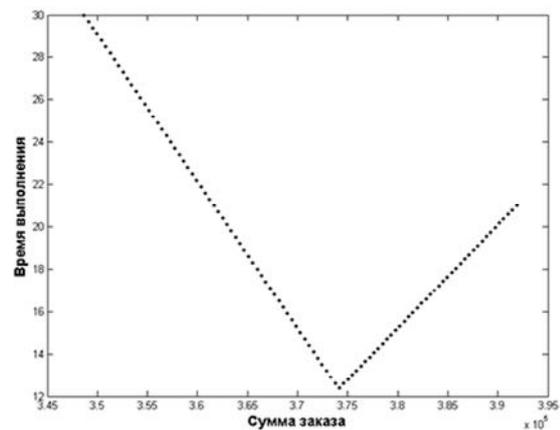


Рис. 3. Распределение объема заказа между двумя поставщиками

При этом общая стоимость заказа составит 374 160 грн., что 4,5% меньше проектной стоимости, предлагаемой участником ООО «КОРТ», и на 7,3% больше стоимости, предлагаемой лучшим в рейтинге подрядчиком «Энергопром». Общий срок исполнения заказа уменьшится на 40% относительно решения, при котором весь заказ выполняет подрядчик ООО «КОРТ», и на 58% – относительно решения, при котором весь заказ выполняет подрядчик «Энергопром».

Однако, исходя из рейтинга, полученного на основе оценок экспертов, третий участник ненамного хуже первых двух. Учитывая это, возможно рассчитать распределение заказа между всеми тремя участниками.

Согласно результатам, полученным с помощью разработанного метода, распределение между тремя заказчиками невыгодно.

Следуя рекомендациям программы, необходимо полностью исключить второго участника из заказа и разделить объем поставки поровну между компаниями «Энергопром» и КРОК ГТ.

#### Результат распределения объема заказа для трех участников

Срок выполнения = 14.9913

Стоимость заказа = 371 870

Доля 1 участника = 0.4997

Доля 2 участника = 0.0010

Доля 3 участника = 0.4992

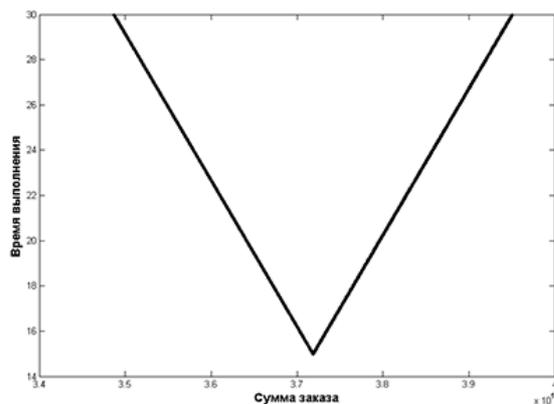


Рис. 4. Распределение объема заказа между тремя поставщиками

Это позволит сократить стоимость проекта до 371 870 грн., что меньше как проектной стоимости предложений компаний ООО «КОРТ» (на 5,1%) и КРОК ГТ (на 5,9%), так и результата, полученного при распределении между двумя лучшими в рейтинге участниками на 1%.

При этом срок выполнения проекта составит 15 дней, то есть на 28,6% меньше, чем проектный срок выполнения ООО «КОРТ», и на 50% меньше

срока, предложенного компаниями «Энергопром» и КРОК ГТ.

## Выводы

Предложенный метод оптимизации распределения объема заказа между конкурирующими агентами позволяет учитывать относительные коэффициенты важности критериев, полученные на основе экспертных оценок, оптимально распределить объем между несколькими агентами, а также минимизировать затраты и избежать возможных задержек в поставках.

Метод доказал свою эффективность, позволив снизить стоимость проекта в некоторых случаях от 4,5 до 6% при снижении общего срока выполнения заказа от 28 до 60%.

## Список литературы

1. Guedas B. *Compromise Based Evolutionary Multiobjective Optimization Algorithm for Multidisciplinary Optimization* / Benoit Guedas, Xavier Gandibleux, Philippe Depince // *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. – 2011. – Volume 648. – P. 69-78.
2. Seydel J. *Multicriteria Support for Construction Bidding* / J. Seydel, D.L. Olson // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2001. – №34. – P. 677-702.
3. Bokrantz R. *An Algorithm for Approximating Convex Pareto Surfaces Based on Dual Techniques* / Rasmus Bokrantz, Anders Forsgren // *INFORMS Journal on Computing*. – 2013. – Volume 25, Issue 2. – P. 377-393.

Поступила в редколлегию 27.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Гоменюк, Запорожский национальный университет, Запорожье.

### МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ОБСЯГУ ЗАМОВЛЕННЯ МІЖ КОНКУРУЮЧИМИ АГЕНТАМИ

Т.О. Колпакова, А.О. Олійник

У роботі запропоновано метод оптимізації розподілу обсягу замовлення між конкуруючими агентами, який враховує відносні коефіцієнти важливості критеріїв, за якими проводиться оптимізація. Розроблений метод дозволяє оптимально розподілити обсяг між декількома агентами, мінімізувати витрати і уникнути можливих затримок в поставках. Даний метод можливо використовувати при вирішенні практичних завдань вибору конкуруючих агентів, в яких учасники пропонують рівнозначні альтернативи (товари або послуги).

**Ключові слова:** оптимізація, розподіл обсягу, критерій оптимальності, відносні пріоритети критеріїв.

### METHOD OF OPTIMIZING THE DISTRIBUTION OF THE ORDER VOLUME AMONG COMPETING AGENTS

T.O. Kolpakova, A.O. Oliinyk

The paper a method for optimizing the distribution of the order volume among competing agents, which takes into account the relative importance of criteria factors over which the optimization is performed, is suggested. The proposed method allows to distribute the amount among several agents optimally, to minimize costs and avoid possible delays in delivery. This method can be used in solving practical problems of selecting competing agents, in which participants offer equivalent alternatives (products or services).

**Keywords:** optimization, volume distribution, optimality criterion, relative priorities of the criteria.