

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.004](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.004)

## Урегулирование конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса

С.И. Сигарев<sup>1</sup>, В.А. Чертов<sup>1</sup>, О.Е. Шугай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, Российская Федерация.*

<sup>2</sup>*Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация.*

**Резюме:** Рассматривается задача урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса. В отличие от традиционного оптимизационного подхода, зачастую не дающего решения в условиях конфликта, предлагается использовать комплексный критерий Нэша-Парето. В этом случае конфликт интересов исчерпывается, поскольку участникам проекта становится невыгодным завышать свои потребности в ресурсах, а их потребности в ресурсах удовлетворяются хотя бы в минимальной мере. Дается математическая постановка такой задачи и, опираясь на работы В.Н. Буркова, Д.А. Новикова и Ю.Б. Гермеера, осуществляется ее решение. Рассматривается два типа моделей равновесного в смысле Нэша распределения ресурса между участниками проекта: с прямым и с обратным приоритетом. В первом случае распределение ресурса происходит согласно принципу: «больше просишь – больше дадут», во втором – «больше просишь – меньше дадут». Для указанных моделей выделяются их разновидности: простые, с учетом коэффициента использования ресурса, со штрафом и с поощрением. Для всех типов моделей и их модификаций выписываются формулы для определения плана распределения ресурса. Описывается алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса, основанный на указанных выше моделях и результатах их анализа. Отличительной чертой алгоритма является то, что в нем урегулирование конфликта интересов участников поддерживается поиском парето-оптимальных планов распределения ресурса. В качестве обсуждения результатов рассматривается задача, когда распределяется не один, а несколько видов ресурсов. Показано, что с учетом комплексирования поставок и взаимозаменяемости ресурсов различных видов, она может быть сведена к решению задачи для одного вида ресурса, а конфликт интересов может быть урегулирован с помощью предложенного алгоритма.

**Ключевые слова:** конфликт, строительство, проект, ресурс, распределение, оптимальность, равновесие Нэша, оптимальность по Парето, алгоритм.

**Для цитирования:** Сигарев С.И., Чертов В.А., Шугай О.Е. Урегулирование конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(2). Доступно по: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.004

## Resolving conflicts of interest between construction project participants by optimizing resource allocation

S.I. Sigarev<sup>1</sup>, V.A. Chertov<sup>1</sup>, O.E. Shugay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Voronezh state technical University, Voronezh, Russian Federation.*

<sup>2</sup>*Voronezh Institute of the Federal penitentiary service of Russia,  
Voronezh, Russian Federation.*

**Abstract:** The problem of resolving conflicts of interest between participants in construction projects by optimizing resource allocation is Considered. In contrast to the traditional optimization approach, which often does not provide a solution in conflict conditions, it is proposed to use a complex Nash-Pareto criterion. In this case, the conflict of interest is resolved, since it becomes unprofitable for project participants to overestimate their resource requirements, and their resource needs are met to the maximum extent possible. A mathematical formulation of this problem is given, and based on V.N. Burkov, D.A. Novikov and Y.B. Germeier, is her decision. We consider two types of models for Nash-balanced resource allocation between project participants: direct and reverse priority. In the first case, the resource is distributed according to the principle: "more you ask – more will be given", in the second – "more you ask – less will be given". For these models, their varieties are distinguished: simple, taking into account the resource utilization coefficient, with a fine and with an incentive. For all types of models and their modifications, formulas are written to determine the resource allocation plan. The article describes an algorithm for resolving conflicts of interest between participants in construction projects by optimizing resource allocation, based on the above models and the results of their analysis. A distinctive feature of the algorithm is that the settlement of the conflict of interests of participants is supported by the search for Pareto-optimal resource allocation plans. As a discussion of the results, we consider a task where several types of resources are distributed, rather than one. It is shown that taking into account the integration of supplies and interchangeability of resources of different types, such a problem can be reduced to solving a problem for one type of resource, and the conflict of interests can be resolved using the proposed algorithm.

**Keywords:** conflict, construction, project, resource, distribution, optimality, Nash equilibrium, Pareto optimality, algorithm. conflict, construction, project, resource, distribution, optimality, Nash equilibrium, algorithm.

**For citation:** Sigarev S.I., Chertov V.A., Shugay O.E. Development of a conceptual model of operational - analytical data marts. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). Available from: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.004 (In Russ).

## Введение

Одной из наиболее ответственных задач при организации выполнения строительных проектов (СП) в условиях конфликта интересов между его участниками является задача урегулирования этого конфликта путем оптимизации распределения ресурса. В качестве ресурса, вокруг которого собственно и развиваются конфликты, могут выступать финансы, сырьё и стройматериалы, горюче-смазочные материалы, технологическое оборудование, трудовые ресурсы и т.д. Суть задачи в ее качественном выражении состоит в таком распределении ограниченного ресурса между участниками СП, чтобы, с одной стороны, в достаточной мере удовлетворялись их потребности в ресурсах, а, с другой стороны, в максимальной степени обеспечивалось эффективное выполнения проекта в целом. Основной проблемой при решении этой задачи является то, что участники проекта осознают, что сообщаемая ими информация по потребному ресурсу ( $r_i$ ) влияет на количество выделяемого им ресурса ( $\bar{r}_i$ ). Естественно предположить, что они будут сообщать такую информацию, которая соответствовала бы их интересу, а именно, получению максимально возможного количества ресурса. Очевидно, что в этом случае ситуация принятия решений по вопросу распределения ресурсов принимает не только конфликтный, но и неопределенный характер. Возникает необходимость построения такого механизма распределения ресурса, при реализации которого исключается возможность сознательного завышения участниками проекта своих ресурсных потребностей и, в тоже время, удовлетворяются их потребности в ресурсах. Очевидно, что добиться такого положения можно только тогда, когда искажение информации становится невыгодным самим участникам проекта, а их потребности в ресурсах удовлетворяются хотя бы в минимальной мере. Такому

требованию отвечает механизм распределения ресурса, результаты применения которого совпадает с точкой равновесия по Нэшу [1,2] и одновременно удовлетворяют критерию оптимальности по Парето [14].

Таким образом, при урегулировании конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса в отличие от классического оптимизационного подхода, когда оптимальным считается распределение ресурса, доставляющее максимум эффективности проекта вне зависимости от ресурсных заявок его участников, предлагается использовать двойной критерий: а) критерий равновесия Нэша, при соблюдении которого участникам проекта становится невыгодным завышать свои потребности в ресурсах; б) критерий оптимальности по Парето, при соблюдении которого, каждый участник проекта получает хотя и минимальный, но вполне достаточный ресурс для выполнения возложенной на него части проекта. Получаемые при этом решения будем называть оптимальными, но не в их классическом оптимизационном понимании, а в смысле оптимальности по критерию Нэша-Парето.

Рассмотрим математические модели такого распределения ресурсов и предложим соответствующий алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса по критерию Нэша-Парето. При этом будем опираться на подходы, предложенные в работах В.Н. Буркова [3-5, 9,10], Д.А. Новикова [3,6,8] и Ю.Б. Гермеера [9], модифицируя их применительно к нашей задаче.

### Математическая формулировка задачи

При формулировании задачи урегулирования конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса между ними будем исходить из трех базовых утверждений: а) в результате оптимизации каждый  $i$ -й участник СП ( $i = \overline{1, N}$ ) должен получить не больше заявленного им количества ресурса и не менее некоторого критического объема ресурса  $r_i^{kr}$ , позволяющего ему не сорвать выполнение порученной части проекта; б) если участник СП получает ресурс в объеме  $\bar{r}_i$ , то в результате его использования он рассчитывает получить эффект  $E_i$ , определяемый априори известной функцией  $E_i(\bar{r}_i)$ ; в) каждый участник СП отчисляет в централизованный фонд распределителя ресурса определенный процент от эффекта  $\lambda_i$  ( $\lambda_i = \overline{0,1}$ ), погашая тем самым стоимость выделенного ресурса и издержки распределителя. Кроме того для простоты пока ограничимся распределением одного вида ресурса ( $R$ ), вокруг которого, собственно, и разыгрывается конфликт интересов.

Если на период выполнения проекта зафиксировать величины  $\lambda_i$  ( $\lambda_i = const$ ), то при соблюдении указанных выше утверждений целевая функция распределителя ресурса, олицетворяющего интересы всего проекта в целом, будет складываться из функций  $E_i(\bar{r}_i)$  взвешенных величинами  $\lambda_i$  и определяемый выражением:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i E_i(\bar{r}_i) \rightarrow \max_{\bar{r}_i}, \quad (1)$$

при соблюдении условий ограниченности распределяемого ресурса  $\sum_{i=1}^N \bar{r}_i \leq R$  и его достаточности для выполнения порученной части проекта  $\bar{r}_i \geq r_i^{kr}$ , где  $r_i^{kr}$  – критическое количество выделяемого ресурса для каждого участника СП.

Целевые функции участников СП, олицетворяющих их локальные интересы, будут определяться выражениями:

$$\begin{aligned} (1 - \lambda)_i E_i(\bar{r}_i) \rightarrow \max_{\bar{r}_i}; i = \overline{1, N}; \\ \bar{r}_i \geq r_i^{kr}. \end{aligned} \quad (2)$$

По сути, механизм урегулирования конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса между ними имеет трехэтапный характер. На первом этапе происходит сбор заявок от участников СП по объему потребного им ресурса  $r_i$ , определение величин  $\lambda_i$  и оценка величин  $E_i$ . На втором этапе осуществляется выбор модели распределения ресурса и на третьем этапе на основе собранной информации производится распределение ресурса каждому участнику так, чтобы при соблюдении целевых функций (1) и (2), принятые решения соответствовали условию равновесия Нэша и критерию оптимальности Парето. Распределение ресурсов при этом происходит пропорционально приоритету  $\eta_i$  ( $\eta_i = \overline{0, 1}$ ), каждого участника СП.

Очевидно, что, назначая приоритеты  $\eta_i$  можно получить различные распределения. В наиболее общем виде (когда ресурс  $R$  распределяется полностью) процедуру урегулирования конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса между ними можно описать следующим выражением:

$$\bar{r}_i = \begin{cases} r_i, & \sum_{i=1}^N r_i \leq R; \\ \min[r_i; R\eta_j(r_i)], & \sum_{i=1}^N r_i > R, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\eta_i(r_i)$  – монотонная функция приоритета  $i$ -го исполнителя от его ресурсной заявки  $r_i$ .

Содержательный смысл выражения (3) заключается в следующем: при отсутствии дефицита ресурса  $\left(\sum_{i=1}^N r_i \leq R\right)$  конфликта между участниками СП как такового нет, поскольку каждому участнику выделяется ресурс в объеме запрашиваемого. В случае дефицита ресурса  $\left(\sum_{i=1}^N r_i > R\right)$  имеет место конфликт между участниками СП и разрешается он тем, что каждому участнику выделяется ресурс сообразно его приоритету, но не больше запрашиваемого. В последнем случае план распределения ограниченного ресурса определяется видом функций  $\eta_i(r_i)$ . Если  $\eta_i(r_i)$  представляют собой возрастающие функции запрашиваемого ресурса, то распределение ресурса происходит согласно принципу: «больше просишь – больше дадут». Такая модель называется моделью прямых приоритетов. Если функции  $\eta_i(r_i)$  – убывающие функции заявок, то распределение ресурсов осуществляется по принципу: «больше просишь – меньше дадут», такая модель называется моделью обратных приоритетов [4,7]. Рассмотрим эти модели, имея в виду, что наша конечная цель состоит в построении на их базе алгоритма урегулирования конфликта интересов между участниками СП по критерию Нэша-Парето. При этом будем учитывать, что существует несколько практических способов урегулирования конфликтов интересов между участниками СП

при  $\sum_{i=1}^N r_i > R$ , обусловленными общностью используемого ими ресурса [11-13]: а) распределением ресурса согласно рациональности его использования каждым участником проекта; б) наложением штрафов на участников проекта за снижение эффективности; в) поощрением участников за превышение эффективности. Соответственно этим способам формируются различные по своему математическому содержанию варианты модели прямого и обратного приоритетов.

### Модели прямого приоритета

#### а) Простая модель прямого приоритета

В этом случае в качестве функции приоритета принимается нормированная величина требуемого ресурса, заявляемая участниками СП, то есть

$$\eta_i(r_i) = \left( r_i / \sum_{i=1}^N r_i \right), \quad i = \overline{1, N}. \quad (4)$$

При этом распределение ресурса между участниками СП должно реализовываться согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min \left[ r_i; R \eta_i(r_i) \right] = \min \left[ r_i; R \left( r_i / \sum_{i=1}^N r_i \right) \right], \quad i = \overline{1, N}. \quad (5)$$

#### б) Модель прямого приоритета с учетом коэффициента использования ресурса

В этом случае приоритет  $i$ -го участника СП задается выражением следующего вида:

$$\eta_i(r_i, \Omega_i) = \Omega_i r_i / \sum_{i=1}^N \Omega_i r_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (6)$$

где  $\Omega_i, (\Omega_i = \overline{0, 1})$  – коэффициенты рациональности использования ресурсов,

а распределение ресурса должно происходить согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min \left[ r_i; R \eta_i(r_i, \Omega_i) \right] = \min \left[ r_i; R \left( \Omega_i r_i / \sum_{i=1}^N \Omega_i r_i \right) \right], \quad i = \overline{1, N} \quad (7)$$

Очевидно, что при распределении ресурса согласно (4) и (5) конфликт интересов между участниками проекта будет исчерпан, поскольку в обоих случаях имеет место вырожденная ситуация равновесная по Нэшу: ни одному участнику проекта не выгодно нарушать ситуацию, поскольку лучшего для себя положения он все равно не добьется. Основной недостаток такой модели урегулирования ресурсного конфликта заключается в том, что не учитывается рациональность использования ресурсов участниками СП, и нет увязки с конечной эффективностью выполнения порученной им части проекта.

#### в) Модель прямого приоритета со штрафами

В этом случае для урегулирования конфликта между участниками СП путем распределения ресурса используется не только информация о величине запрашиваемого ими ресурса, но также о заявленной и реальной эффективности функционирования. В случае линейно-пропорциональной функции штрафа такой порядок распределения ресурса характеризуется тем, что функции приоритета участников СП задаются выражениями следующего вида:

$$\eta_i(r_i, \Delta^- E_i) = (1 - \Delta^- E_i) r_i / \sum_{i=1}^N (1 - \Delta^- E_i) r_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (8)$$

где  $\Delta^- E_i (\Delta^- E_i = \overline{0,1})$  – нормированная величина штрафа, характеризующая насколько заявленная участником СП эффективность выполнения порученной ему части проекта меньше эффективности, оцениваемой распределителем ресурса, чем меньше эта величина тем больший ресурс выделяется участнику проекта.

При этом равновесную по Нэшу ситуацию можно получить, руководствуясь результатами, изложенным для модели б), положив  $\Omega_i = 1 - \Delta^- E_i$ . В этом случае выражение (7) примет вид:

$$\bar{r}_i = \min \left[ r_i; R \eta_i(r_i, \Delta^- E_i) \right] = \min \left[ r_i; R \left( (1 - \Delta^- E_i) r_i / \sum_{i=1}^N (1 - \Delta^- E_i) r_i \right) \right], \quad i = \overline{1, N}. \quad (9)$$

### з) Модель прямого приоритета с поощрениями

Как и в предыдущем случае, здесь для принятия решения о распределении ресурса между участниками СП используется не только информация о величине запрашиваемого ими ресурса, но также о заявленной и реальной эффективности функционирования. При линейно-пропорциональной функции поощрения такой порядок распределения ресурса характеризуется тем, что функции приоритета участников СП задаются выражениями следующего вида:

$$\eta_i(r_i, \Delta^+ E) = \Delta^+ E r_i / \sum_{i=1}^N \Delta^+ E r_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (10)$$

где  $\Delta^+ E_i (\Delta^+ E_i = \overline{0,1})$  – нормированная величина поощрения, характеризующая насколько заявленная участником СП эффективность выполнения порученной ему части проекта превышает эффективность, оцениваемую распределителем ресурса, чем больше эта величина тем выше приоритет данного участника СП и, соответственно, больший ресурс ему выделяется.

При этом равновесную по Нэшу ситуацию можно получить, аналогично модели б), положив  $\Omega_i = \Delta^+ E$ . В этом случае выражение (7) примет вид:

$$\bar{r}_i = \min \left[ r_i; R \eta_i(r_i, \Delta^+ E) \right] = \min \left[ r_i; R \left( \Delta^+ E r_i / \sum_{i=1}^N \Delta^+ E r_i \right) \right], \quad i = \overline{1, N}. \quad (11)$$

Общим недостатком моделей прямого приоритета является то, что они исходят из доверительного характера взаимоотношений между распределителем ресурса и конфликтующими участниками проекта, что не всегда соответствует действительности. В итоге их практическое применение может привести к неоправданному завышению суммарной стоимости проекта.

## Модели обратного приоритета

### а) Простая модель обратного приоритета

В этом случае в качестве функции приоритета принимается нормированная величина обратная объему заявляемого ресурса, то есть

$$h_i(r_i) = 1 - \left( r_i / \sum_{i=1}^N r_i \right), \quad i = \overline{1, N}. \quad (12)$$

При этом распределение ресурса между участниками СП должно реализовываться согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min[r_i; Rh_i(r_i)] = \min\left\{r_i; R\left[1 - \left(\frac{r_i}{\sum_{i=1}^N r_i}\right)\right]\right\}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (13)$$

б) *Модель обратного приоритета с учетом коэффициента использования ресурса*

В этом случае приоритет  $i$ -го участника СП задается выражением вида:

$$h_i(r_i, \Omega_i) = 1 - \left(\frac{\Omega_i r_i}{\sum_{i=1}^N \Omega_i r_i}\right), \quad i = \overline{1, N}, \quad (14)$$

где, как и ранее,  $\Omega_i$  ( $\Omega_i = \overline{0, 1}$ ) – коэффициенты рациональности использования ресурсов участниками СП.

При этом распределение ресурса должно происходить согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min[r_i; Rh_i(r_i, \Omega_i)] = \min\left\{r_i; R\left[1 - \left(\frac{\Omega_i r_i}{\sum_{i=1}^N \Omega_i r_i}\right)\right]\right\}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (15)$$

в) *Модель обратного приоритета со штрафами*

В случае для линейно-пропорциональной функции штрафа и по аналогии с моделью прямого приоритета функции приоритета участников СП задаются выражениями следующего вида:

$$\eta_i(r_i, \Delta^- E_i) = 1 - \left[\frac{(1 - \Delta^- E_i) r_i}{\sum_{i=1}^N (1 - \Delta^- E_i) r_i}\right], \quad i = \overline{1, N} \quad (16)$$

где, как и ранее,  $\Delta^- E_i$  ( $\Delta^- E_i = \overline{0, 1}$ ) – нормированная величина штрафа, характеризующая насколько заявленная участником СП эффективность выполнения порученной ему части проекта меньше эффективности, оцениваемой распределителем ресурса.

При этом распределение ресурса между конфликтующими участниками СП должно реализовываться согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min[r_i; R\eta_i(r_i, \Delta^- E_i)] = \min\left\{r_i; R\left[1 - \left(\frac{(1 - \Delta^- E_i) r_i}{\sum_{i=1}^N (1 - \Delta^- E_i) r_i}\right)\right]\right\}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (17)$$

г) *Модель обратного приоритета с поощрениями*

При линейно-пропорциональной функции поощрения такой порядок распределения ресурса характеризуется тем, что функции приоритета участников СП задаются выражениями вида:

$$\eta_i(r_i, \Delta^+ E_i) = 1 - \left(\frac{\Delta^+ E_i r_i}{\sum_{i=1}^N \Delta^+ E_i r_i}\right), \quad i = \overline{1, N}. \quad (18)$$

где, как и ранее,  $\Delta^+ E_i$  ( $\Delta^+ E_i = \overline{0, 1}$ ) – нормированная величина поощрения, характеризующая насколько заявленная участником СП эффективность выполнения порученной ему части проекта превышает эффективность, оцениваемую распределителем ресурса.

При этом распределение ресурса между конфликтующими участниками СП должно реализовываться согласно выражению:

$$\bar{r}_i = \min[r_i; R\eta_i(r_i, \Delta^+ E_i)] = \min\left\{r_i; R\left[1 - \left(\frac{\Delta^+ E_i r_i}{\sum_{i=1}^N \Delta^+ E_i r_i}\right)\right]\right\}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (19)$$

В [6] показано, что когда правила распределения ресурса устанавливаются заранее, доводятся до всех участников СП и не меняются в процессе реализации проекта,

распределение ресурса между конфликтующими сторонами с помощью рассмотренных моделей обратного приоритета будет соответствовать равновесию по Нэшу. Более того, результаты распределения ресурса, определяемые выражениями (13), (15), (17) и (19) являются для конфликтующих участников проекта гарантирующими, то есть при соблюдении этих условия эффективности  $E_i$  каждого участника будут максимальными при наихудших линиях поведения остальных участников. Отмеченные свойства, дают основание утверждать, что данная модель во всех ее разновидностях не способствует завышению участниками СП своих ресурсных потребностей, и может служить эффективным инструментом урегулирования конфликтов между ними. Однако она не свободна от недостатков, к которым можно отнести тот факт, что во всех вариантах модели обратных приоритетов исходят из не доверительного характера взаимоотношений между распределителем ресурса и ресурсно конфликтующими участниками проекта, что может привести к конфликтам психологического свойства.

### Парето-оптимальное распределения ресурса

Предположим, что с помощью одной из описанных выше моделей найден один или несколько планов распределения ресурса, позволяющих урегулировать ресурсный конфликт между участниками СП, то есть являющиеся равновесными по Нэшу. Возникает естественный вопрос о том, позволяет ли их реализация обеспечить выполнение проекта в целом. Традиционно для решения подобных вопросов используется подход, основанный на установлении функциональной зависимости конечной эффективности проекта от того или иного варианта плана распределения ресурса с последующим выбором наилучшего по критерию максимума эффективности. Однако в нашем случае в силу сложности такой подход к решению задачи нельзя признать конструктивным, поскольку при его практической реализации приходится идти на существенные упрощения, нивелирующие достоверность полученных результатов. С силу этого вместо классического оптимизационного подхода предлагается использовать подход, основанный на критерии оптимальности по Парето. Согласно [14], суть парето-оптимальных решений применительно к нашему случаю можно трактовать следующим образом. Предположим, что обсуждаются два плана распределения ресурса между участниками СП: план «А» и план «Б». Вообще говоря, одним участникам выгоднее план «А», другим – «Б». Если же случится так, что план «А» кому-то выгоднее, чем «Б», а план «Б» для всех не лучше, чем «А», то распределителю ресурса нет никакого смысла выбирать план «Б». В этом случае говорят, что план «А» доминирует в смысле Парето над планом «Б». Планы, которые не доминируются никакими другими, то есть не могут быть отклонены на основании того, что они отвергаются всеми участниками проекта, называются оптимальными по Парето, или парето-оптимальными. Существует достаточно много методов поиска парето-оптимальных решений [14], мы ограничимся самым простым в смысле его практической реализации. Суть его в следующем. Любой план распределения ресурса, удовлетворяющий равновесию Нэша, будем считать парето-оптимальным, если распределение ресурса произведено таким образом, что всем участникам проекта (без исключения) будет выделено не менее некоторого критического объема ресурса, позволяющего им не сорвать выполнение, возложенной на них части проекта. В формальном выражении это означает выполнение следующего условия:

$$\forall_{i=1}^N \left( \bar{r}_i \geq r_i^{kr} \right). \quad (20)$$

В противном случае, когда распределение ресурса произведено таким образом, что, несмотря на соблюдение равновесия Нэша, справедливо условие:



$$\exists_{i=1}^N \left( \bar{r}_i < r_i^{kr} \right), \quad (21)$$

то есть среди участников проекта будут такие, которым выделяется ресурс меньше его критического значения, считается, что задача урегулирования ресурсного конфликта решена некорректно, и она должна быть переформулирована. Если после такой процедуры не останется ни одного равновесного по Нэшу плана распределения ресурса, претендующего на роль парето-оптимального, то следует констатировать, что наличным ресурсом, как его ни дели, невозможно обеспечить выполнение проекта и необходимо изыскивать дополнительные ресурсы или менять участников проекта. Если же окажется, что есть хотя бы один план, удовлетворяющий критерию Парето, то задача решена. Естественно, что при этом целевые функции (1) и (2) достигнуты не будут, но срыва выполнения проекта по причине ресурсного конфликта его участников не произойдет.

### **Алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса**

Рассмотренные выше модели и подходы позволяют разработать алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками СП путем оптимизации распределения ресурса. Блок-схема алгоритма представлена на Рисунке 1. В соответствие с этим алгоритмом поставленная задача решается пошагово.

На *первом шаге* производится сбор заявок от участников СП по объему потребного им ресурса  $r_i$ , определение величин  $\lambda$  и  $r_i^{kr}$ , оценка величин  $E_i$ .

На *втором шаге* осуществляется выбор типа модели распределения ресурса между участниками СП и задание ее параметров ( $\Omega$ ,  $\Delta^+E$ ,  $\Delta^-E$  и др.). Если объем имеющегося ресурса превышает суммарные потребности участников проекта и вопросы его экономии не играют особой роли, то целесообразно выбрать модель прямого приоритета. В противном случае предпочтение следует отдать модели обратного приоритета. Выбор конкретной разновидности моделей зависит от стиля организации выполнения данного СП. Если распорядитель ресурса отдает предпочтение рациональному использованию ресурсов и игнорирует штрафы и поощрения исполнителей проекта, то целесообразно использовать модель обратного приоритета с учетом коэффициента использования ресурса. В том случае, когда распределитель ресурса считает, что организация выполнения проекта должна базироваться на концепции стимулирования исполнителей, целесообразно выбирать модель обратного приоритета со штрафами или с поощрениями. При выборе между последними модификациями учитываются традиции, сложившиеся в коллективе участников СП, психологические аспекты и уровень ответственности исполнителей.

На *третьем шаге* производится непосредственное распределение ресурса в соответствие с выбранной моделью и ее модификацией. Если выбрана модель прямых приоритетов, то ресурс между участниками СП распределяется согласно формулам (5), (7), (9), (11). В случае выбора модели обратного приоритета ресурс между участниками СП распределяется согласно формулам (13), (15), (17), (19).

На *четвертом шаге* осуществляется анализ полученных результатов. Если распределение ресурса произведено таким образом, что выполняется условие (20), то распределение ресурсы будет парето-оптимальным и задача считается решенной. В противном случае, когда распределение ресурса произведено таким образом, что справедливо условие (21), считается, что оно не удовлетворяет критерию оптимальности по Парето, задача решена некорректно и осуществляется переход к шагу 1.

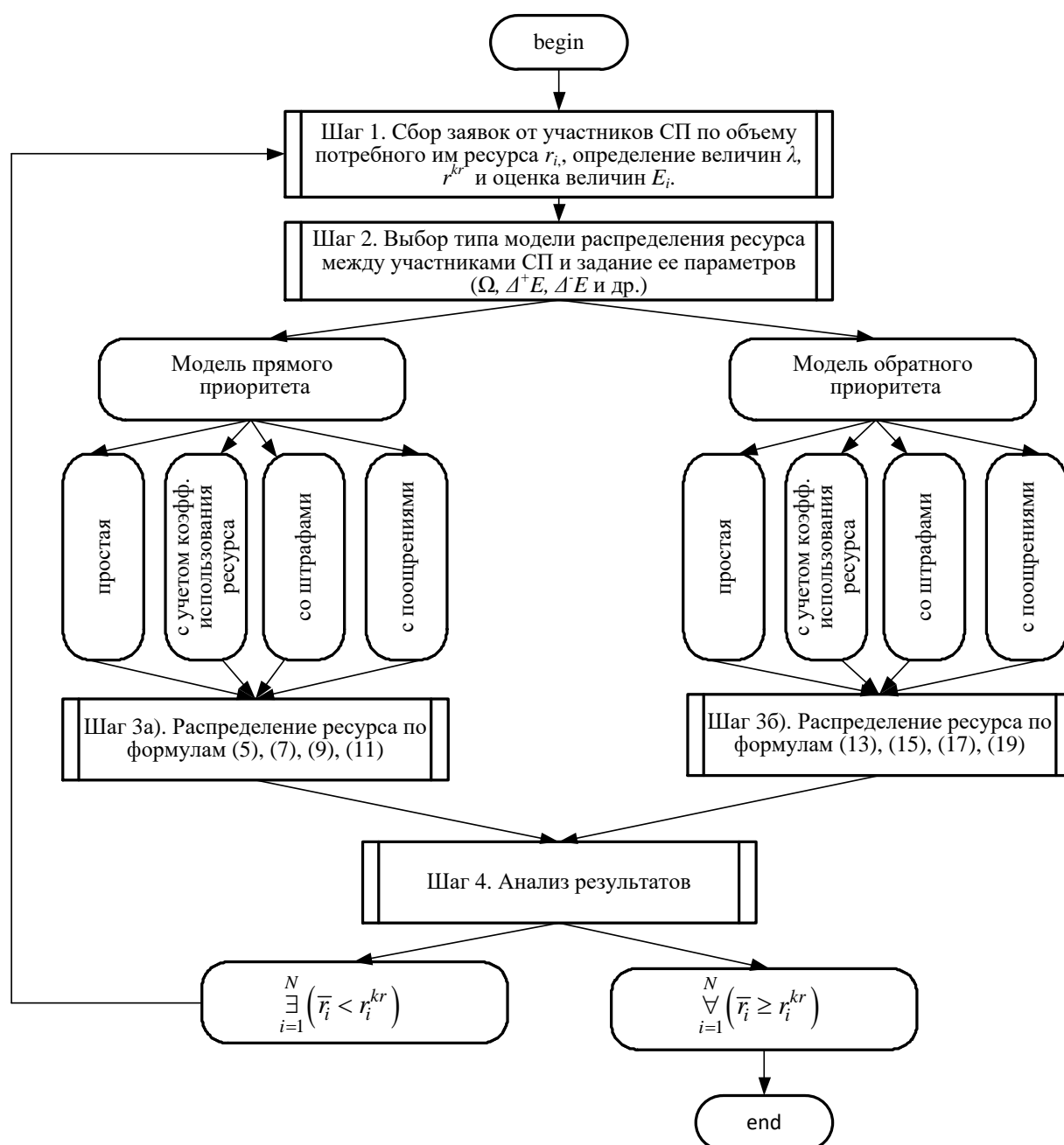


Рисунок 1. Алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации ресурса

Figure 1. Algorithm for resolving conflicts of interest between participants in construction projects by optimizing the resource

### Обсуждение результатов

Во-первых, следует отметить, что при выбранной трактовке критерия оптимальности по Парето, не удастся получить наилучших планов распределения ресурса. В лучшем случае могут быть найдены равновесные по Нэшу (неконфликтные) варианты, при реализации которых не следует ожидать срыва выполнения проекта. С точки зрения выбранных критериев все эти варианты равнозначны, и распределитель

ресурса может руководствоваться любым из них. Для выбора же конкретного варианта необходимо вводить дополнительные критерии экономического, временного, психологического или какого-либо иного типа.

Во-вторых, полученные выше результаты, справедливы при условии, что конфликт интересов развивается вокруг распределения одного вида ресурса. Обобщим их на случай, когда конфликт интересов участников СП распространяется на несколько видов ресурсов.

Как показывает практика строительных работ, ресурсы различных видов нужны участникам СП не вообще, а в определенной пропорции (комплекте). Обозначим:  $a_{ij}$  – количество ресурсов  $j$ -го вида, входящих в единичный комплект для  $i$ -го участника СП;  $x_i$  – количество комплектов, планируемых  $i$ -му участнику;  $E_i(x_i)$  – функция, определяющая эффективность функционирования  $i$ -го участника в зависимости от количества полученных им комплектов;  $R_j$  – количество ресурсов  $j$ -го вида,  $j = \overline{1, M}$ . Тогда множество допустимых планов распределения ресурсов будет описываться

системой неравенств  $\sum_{i=1}^N a_{ij} x_i \leq R_j, j = \overline{1, M}$ . В итоге получаем задачу распределения

ресурсов одного вида (комплектов) с более сложной областью допустимых планов, что позволяет экстраполировать результаты, полученные ранее для ресурсов одного вида, на рассматриваемый случай.

При реализации конкретных строительных проектов часто возникает вопрос о том, что на данный момент времени ресурс с конкретными параметрами отсутствует, но имеется аналогичный ресурс с несколько другими характеристиками, который, тем не менее, может быть использован для производства проектных работ. Возникает вопрос об урегулировании конфликта интересов путем взаимозаменяемости ресурсов в процессе их распределения. Это обстоятельство может быть учтено путем введения для каждого участника СП некоторого «основного» или «базового» ресурса, который обозначим как  $a_{ij}$ . Под этой величиной будем понимать количество основного ресурса, эквивалентное единице  $j$ -го ресурса. Если обозначить через  $y_{ij}$  количество  $j$ -го ресурса, получаемое  $i$ -м участником СП, то пересчет в единицы основного ресурса может осуществляться по

формуле  $x_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_{ij}$ . Это позволяет выразить функцию  $E_i(x_i)$  каждого участника через

эквивалентное количество основного ресурса и в итоге задача опять сводится к распределению ресурса одного вида (основного).

### Заключение

В статье решена задача урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса, потребного им для выполнения работ, предусмотренных проектной документацией. При этом в отличие от традиционного оптимизационного подхода, зачастую не дающего решения задачи в условиях конфликта, предлагается использовать комплексный критерий Нэша-Парето, при соблюдении которого участникам проекта становится невыгодным завышать свои потребности в ресурсах, а их потребности в ресурсах удовлетворяются в максимально возможной мере. Выбор такого критерия в большей мере соответствует практическим ситуациям, когда участники СП склонны завышать свои потребности в ресурсах.

Рассматривается два типа моделей распределения ресурса между участниками проекта: с прямым и с обратным приоритетом. В первом случае распределение ресурса происходит согласно принципу: «больше просишь – больше дадут». Во втором случае

распределение ресурсов осуществляется по принципу: «больше просишь – меньше дадут». Для названных моделей выделяются их разновидности: простые, с учетом коэффициента использования ресурса, со штрафом и с поощрением. Для всех типов моделей и их модификаций выписываются формулы для определения оптимального в смысле равновесия Нэша плана распределения ресурса.

Описывается алгоритм урегулирования конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса, основанный на указанных выше моделях и результатах их анализа. Отличительной чертой алгоритма является то, что в нем урегулирование конфликта интересов участников поддерживается поиском парето-оптимальных планов распределения ресурса..

Показано, что с учетом комплексирования поставок и взаимозаменяемости ресурсов различных видов, задача распределения нескольких видов ресурсов может быть сведена к решению задачи для одного вида ресурса, а конфликт интересов может быть урегулирован с помощью предложенного алгоритма.

Изложенные в статье материалы имеют то прикладное значение, что могут быть использованы для построения компьютерных программных средств поддержки принятия решений в процессе организации выполнения строительных работ в условиях конфликта интересов их участников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васин А. А., Морозов В. В. *Теория игр и модели математической экономики*. – М.: МГУ, 2005.
2. Опойцев В.И. *Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения*. – М.: Наука, 1977.
3. Бурков В.Н., Новиков Д.А. *Как управлять проектами*: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: Синтег, 1997.
4. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. *Механизмы функционирования организационных систем*. – М.: Наука, 1981.
5. Бурков В.Н. *Основы математической теории активных систем*. – М.: Наука, 1977.
6. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2007.
7. *Модели и механизмы управления в самоорганизующихся системах*. Под ред. В.Н. Буркова. – Воронеж: Научная книга, 2008.
8. *Модели управления конфликтами и рисками*. Под ред. Д.А. Новикова. – Воронеж: Научная книга, 2008.
9. Гермейер Ю.Б. *Игры с противоположными интересами*. – М.: Наука, 1976.
10. Алферов В.И., Баркалов С.А., Бурков В.Н. и др. *Прикладные задачи управления строительными проектами*. – Воронеж: Научная книга, 2008.
11. Новосельцев В.И., Аржакова Н.В. и др. *Теория конфликта и ее приложения*. Под ред. В.И. Новосельцева. – Воронеж: Кварта, 2005.
12. Новосельцев В.И., Балан В.П. и др. *Управление конфликтами: учебное пособие для вузов*. Под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015.
13. Новосельцев В.И., Душкин А.В., Орлова Д.Е., Щербакова Ю.В. Критерии выбора договоренностей в условиях конфликта интересов. *Вестник Воронежского института ФСИН России*, 2014;(4):52-54.
14. Подиновский В.В., Ногин В.Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. – М.: Наука, 1982.

## REFERENCES

1. Vasin A. A., Morozov V. V. *Teoriya igr i modeli matematicheskoi ekonomiki*. – М.: MGU, 2005.
2. Opoitsev V.I. *Ravnovesie i ustoichivost' v modelyakh kollektivnogo povedeniya*. – М.: Nauka, 1977.
3. Burkov V.N., Novikov D.A. *Kak upravlyat' proektami: Nauchno-prakticheskoe izdanie. Seriya «Informatizatsiya Rossii na poroge XXI veka»*. – М.: Sinteg, 1997.
4. Burkov V.N., Kondrat'ev V.V. *Mekhanizmy funktsionirovaniya organizatsionnykh sistem*. – М.: Nauka, 1981.
5. Burkov V.N. *Osnovy matematicheskoi teorii aktivnykh sistem*. – М.: Nauka, 1977.
6. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami. – 2-e izd. – М.: Fizmatlit. 2007.*
7. *Modeli i mekhanizmy upravleniya v samoorganizuyushchikhsya sistemakh*. Pod red. V.N. Burkova. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008.
8. *Modeli upravleniya konfliktami i riskami*. Pod red. D.A. Novikova. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008.
9. Germeier Yu.B. *Igry s neprotivopolozhnymi interesami*. – М.: Nauka, 1976.
10. Alferov V.I., Barkalov S.A., Burkov V.N. i dr. *Prikladnye zadachi upravleniya stroitel'nymi proektami*. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008.
11. Novosel'tsev V.I., Arzhakova N.V. i dr. *Teoriya konflikta i ee prilozheniya*. Pod red. V.I. Novosel'tseva. – Voronezh: Kvarta, 2005.
12. Novosel'tsev V.I., Balan V.P. i dr. *Upravlenie konfliktami: uchebnoe posobie dlya vuzov*. Pod red. V.I. Novosel'tseva. – М.: Goryachaya liniya – Telekom, 2015.
13. Novosel'tsev V.I., Dushkin A.V., Orlova D.E., Shcherbakova Yu.V. Kriterii vybora dogovorennoy v usloviyakh konflikta interesov. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*, 2014;(4):52-54.
14. Podinovskii V.V., Negin V.D. *Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nykh zadach*. – М.: Nauka, 1982.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Сигарев Станислав Игоревич**, аспирант кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет", Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail: [cva.57@yandex.ru](mailto:cva.57@yandex.ru)*

**Stanislav I. Sigarev**, Post-Graduate Student Of The Department Of Technology, Construction Organization, Expertise And Real Estate Management, Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation.

**Чертов Вячеслав Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет", Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail: [cva.57@yandex.ru](mailto:cva.57@yandex.ru)*

**Vyacheslav A. Chertov**, Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor Of The Department Of Technology, Construction Organization, Expertise And Property Management, Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation.

**Шугай Оксана Евгеньевна**, адъюнкт кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, Федеральное казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний», Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail:* [oks-shugaj@mail.ru](mailto:oks-shugaj@mail.ru)

**Oksana E. Shugay**, Associate Professor Of The Department Of Information Security Of Telecommunication Systems Federal State Educational Institution Of Higher Education "Voronezh Institute Of The Federal Penitentiary Service», Voronezh, Russian Federation