

УДК 519.876.2

О МЕХАНИЗМЕ ПОВЫШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ, СОДЕРЖАЩИХ МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ПРОЕКТЫ

**Н. Ю. Ефимов, Ю. А. Завьялов, М. М. Свинцов, Ю. Ю. Тишанинов,
П. А. Хроменко, В. В. Зимин**

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Предложен механизм повышения вычислительной эффективности процедуры формирования программ развития (предприятия, региона, муниципалитета). Эта процедура включает несколько направлений, одно из которых представлено многоцелевыми проектами, каждый из них может изменять показатели проектов других направлений. Процедура формирования программы основана на декомпозиции исходной задачи на множество задач о ранце. Приведены результаты компьютерных экспериментов, показывающие, что вычислительную эффективность предложенной процедуры можно качественно улучшить за счет априорной оценки эффективности вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе исходной информации о проектах.

Ключевые слова: программа развития, многоцелевой проект, декомпозиция, задача о ранце, вычислительная эффективность процедуры, компьютерное моделирование

Для цитирования. Ефимов Н.Ю., Завьялов Ю.А., Свинцов М.М., Тишанинов Ю.Ю., Хроменко П.А., Зимин В.В. О механизме повышения вычислительной эффективности процедуры формирования программ развития, содержащей многоцелевые проекты // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 4 (38). С. 36–42.

ABOUT MECHANISM FOR IMPROVING THE COMPUTATIONAL EFFICIENCY OF THE PROCEDURE FOR FORMING DEVELOPMENT PROGRAMS CONTAINING MULTI-PURPOSE PROJECTS

**N. Yu. Efimov, Yu. A. Zav'yalov, M. M. Svintsov, Yu. Yu. Tishaninov,
P. A. Khromenko, V. V. Zimin**

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. The article proposed a mechanism for improving the computational efficiency of the procedure for the formation of development programs (enterprises, regions, municipality), which included several areas, one of which was represented by multi-purpose projects, each of which would change the indicators of projects of other areas. The program generation procedure is based on the decomposition of the original task into a plurality of knapsack tasks. The results of the computer experiment are presented, showing that the computational efficiency of the pre-test procedure can be qualitatively improved due to a priori assessment of the effectiveness of options for entering multi-purpose projects based on initial information about projects.

Keywords: development program, multipurpose project, decomposition, knapsack problem, numerical efficiency of algorithm, computer modeling

For citation: Efimov N.Yu., Zav'yalov Yu.A., Svintsov M.M., Tishaninov Yu.Yu., Khromenko P.A., Zimin V.V. About mechanism for improving the computational efficiency of the procedure for forming development programs containing multi-purpose projects. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no 4 (38), pp. 36–42. (In Russ.).

Введение

В работах [1 – 3] рассмотрены задачи формирования портфеля проектов и программ развития при наличии нескольких направлений и ограничений на общий объем инвестиций. Представляет интерес разработка механизма решения задачи для случая, когда среди направлений развития имеется многоцелевое, проекты которого изменяют показатели проектов немногочисленных направлений [4 – 5].

Обозначения и формализация задачи

Пусть $P = \{ \{ p_{ji} | i = \overline{1, n_j} \} | j = \overline{1, m} \}$ – множество проектов, инициированных для включения в программу развития предприятия (региона, муниципалитета и т.п.). Множество включает m направлений развития, каждое из которых содержит по n_j проектов p_{ji} . Рассмотрим случай, когда одно из направлений состоит из так называемых многоцелевых проектов, то есть таких проектов, которые вносят определенный вклад в эффективность проектов других направлений. Будем считать многоцелевым m -ое направление развития. Пусть $\alpha_{ji} = \alpha(p_{ji})$ и $c_{ji} = c(p_{ji})$, $i = \overline{1, n_j}; j = \overline{1, (m-1)}$, соответственно, показатели эффективности и размеры инвестиций в проекты немногочисленных направлений. Влияние отдельного проекта $p_{mi}, i = \overline{1, n_m}$ многоцелевого направления на эффективность проектов других направлений описывается совокупностью кортежей $\{ \beta_{ji}^{mi} | i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)} \}; \{ \delta_{ji}^{mi} | i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)} \}$, где β_{ji}^{mi} и δ_{ji}^{mi} – вклад многоцелевого проекта p_{mi} в эффективность и в снижение затрат на реализацию проектов $p_{ji}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)}$.

Введем переменную x_{ji} , которая равна 1, если проект p_{ji} включается в программу развития, и равна 0 в противном случае. Тогда эффект γ_{ji} от реализации немногочисленного проекта p_{ji} будет

$$\gamma_{ji} = \alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}. \quad (1)$$

Аналогично, затраты на реализацию этого проекта будут определяться выражением

$$\mu_{ji} = c_{ji} - \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}. \quad (2)$$

Теперь задача формирования программы развития с учетом многоцелевых проектов формализуется следующим образом:

$$A(x) = \sum_{m=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} (\alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}) x_{ji} + \sum_{i=1}^{n_m} \alpha_{mi} x_{mi} \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$C(x) = \sum_{m=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} (c_{ji} - \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}) x_{ji} + \sum_{i=1}^{n_m} c_{mi} x_{mi} \leq c^*. \quad (4)$$

Задача (3) – (4) является нелинейной, так как критерий (3) и ограничение (4) описываются квадратичными функциями. Рассмотрим следующий способ решения этой задачи.

Процедура формирования программы развития с учетом наличия многоцелевых проектов

Пусть множество $\{x_m^h | h = \overline{1, 2^{n_m}}\} = \{(x_{m1}^h, x_{m2}^h, \dots, x_{mn_m}^h) | h = \overline{1, 2^{n_m}}\}$ описывает все возможные решения по включению многоцелевых проектов в программу развития. Формализуем задачу формирования программы развития при условии, что выбрано конкретное решение $x_m^h = (x_{m1}^h, x_{m2}^h, \dots, x_{mn_m}^h)$ для проектов многоцелевого направления. Эффект $\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h)$ и затраты $\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h)$ для проектов немногочисленных направлений в этом случае будут равны

$$\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h) = \alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}^h; \quad (5)$$

$$\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h) = c_{ji} + \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}^h. \quad (6)$$

Соответствующая постановка задачи формирования программы развития будет

$$\mu(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h) = \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_{ji}(x_m^h) x_{ji} \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$\gamma(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h) = \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} \mu_{ji}(x_m^h) x_{ji} \leq c^* - c(x_m^h) = c^*(x_m^h); \quad (8)$$

$$c(x_m^h) = \sum_{i=1}^{n_m} c_{mi} x_{mi}^h, \quad (9)$$

где c^* – общий размер инвестиций в программу развития и

Задача (7) – (8) представляет собой простую задачу о ранце, для решения которой применим метод дихотомического программирования. Таким образом, чтобы решить исходную задачу (3) – (4), необходимо решить 2^{n_m} задач (7) – (8) для каждого варианта вхождения многоцелевых проектов в программу развития.

Пусть $(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt}$ – оптимальное решение задачи (7) – (8) для варианта вхождения $x_m^h = (x_{m1}^h, x_{m2}^h, \dots, x_{mn_m}^h)$. Тогда значение критерия $A(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)$ для задачи (3) – (4) при заданном x_m^h примет значение

$$A(x_1 x_2 \dots x_{m-1}, x_m^h) = \mu(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt} + \sum_{i=1}^m \alpha_{mi} x_{mi}^h. \quad (10)$$

Соответственно, размер инвестиций $C(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)$ в программу развития будет

$$C(x_1 x_2 \dots x_{m-1}, x_m^h) = \gamma(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt} + \sum_{i=1}^m c_{mi} x_{mi}^h. \quad (11)$$

Чтобы сформировать оптимальную программу развития, необходимо выбрать лучшую комбинацию из решения для многоцелевого и соответствующего решения для немногочелевых направлений.

Такая процедура формирования программы развития может вызвать большие вычислительные сложности, если количество n_m многоцелевых проектов велико.

Механизм повышения вычислительной эффективности предложенной процедуры формирования программы развития

Только один из 2^{n_m} вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития доставляет оптимум критерию (3). Представляется целесообразным определить способ априорного ранжирования вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе специальным образом сконструированной метрики, которая оценивала бы величину «удаленности» значения локального критерия, определяемого конкретным вариантом вхождения многоцелевых проектов в программу развития от значения глобального оптимума задач (3) – (4).

Сформируем метрику σ_{ud}^h следующим образом.

Определим для каждого многоцелевого проекта $p_{mk}, k = \overline{1, n_m}$ величину $\sigma_{mk} = \sigma(p_{mk})$ «потенциального» вклада в эффективность проектов немногочелевых направлений:

$$\sigma_{mk} = \alpha_{mk} + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_i^{n_m} \beta_{ji}^{mk}, k = \overline{1, n_m}. \quad (12)$$

Оценим «удельную» эффективность σ_{ud}^h каждого элемента множества $\{(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h | h = \overline{1, 2^{n_m}}\}$ следующей относительной величиной

$$\sigma_{ud}^h = \sigma_{ud}^h(x_{m1}, \dots, x_{mn_m}) = \sum_{k=1}^{n_m} \sigma_{mk} x_{mk} / \sum_{k=1}^{n_m} x_{mk} \quad (13)$$

$$h = \overline{1, 2^{n_m}}.$$

Упорядочим элементы $(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$ по убыванию величины σ_{ud}^h . Пусть последовательность

$$((x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h | h = \overline{1, 2^{n_m}}) \quad (14)$$

является результатом упорядочения.

В (14) варианты вхождения многоцелевых проектов в программу развития ранжированы по значению метрики σ_{ud}^h , которая описывает степень «потенциального» воздействия вариантов на проекты немногочелевых направлений. Метрика учитывает, как величину «потенциального» вклада многоцелевых проектов в эффективности проектов немногочелевых направлений, так и размер инвестиций на реализацию немногочелевых проектов.

Используем метрику σ_{ud}^h для повышения вычислительной эффективности изложенной процедуры решения задачи (3) – (4). Для этого выполним серию компьютерных экспериментов и на основе данных, полученных при моделировании, построим следующие функции:

– эмпирическую функцию распределения глобального оптимума исходной задачи (3) – (4) в зависимости от числа первых решаемых вариантов задачи (7) – (8), определяемых последовательностью (14), сформированной с использованием метрики σ_{ud}^h ;

– эмпирическую функцию отклонений значений локального оптимума, получаемого при решении задач (7) – (8) для различного числа решаемых задач из последовательности (1) от значения глобального оптимума исходной задачи (3) – (4).

Построенные функции позволят лицу, принимающему решение (ЛПР), получить ответы на следующие вопросы:

– для какого количества первых из последовательности (14) вариантов вхождения многоцелевых проектов необходимо решить задачу (7) – (8), чтобы с заданной оценкой вероятности p^* найти глобальный оптимум исходной задачи (3) – (4);

– какова оценка вероятности нахождения оптимального оптимума исходной задачи (3) – (4), если решить задачу (7) – (8) для заданного количества k^* первых из последовательности (10)

Сравнение эффективностей вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе решения задачи (7) – (8) и на основе метрики σ_{ud}^h (первая серия экспериментов)

Comparison of the efficiencies of entry options for multi-purpose projects based on the solution of problem (7) – (8) and based on metrics σ_{ud}^h (first series of experiments)

$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$	1 1 1	1 0 1	1 1 0	0 1 1	1 0 0	0 0 1	0 1 0
$\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	244	208	198	193	162	157	147
$\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	15005	12748	13605	13273	11348	11016	11873
$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$	0 0 1	1 0 1	1 0 0	1 1 1	0 1 1	1 1 0	0 1 0
σ_{ud}^h	0,0371	0,0362	0,0354	0,0309	0,0287	0,0286	0,0234

вариантов вхождения многоцелевых проектов;

– для какого количества первых k вариантов вхождения многоцелевых проектов из (14) необходимо решить задачу (7) – (8), чтобы оценка отклонения найденного локального оптимума от глобального оптимума исходной задачи (3) – (4) не превышала заданного p_r^* числа процентов;

– какова будет оценка отклонения в процентах p_r локального оптимума от глобального оптимума исходной задачи (3) – (4), если решить задачу (7) – (8) для первых k^* из последовательности (14) вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития.

Используя описанные свойства функций, можно сформировать различные механизмы управления вычислительной эффективностью изложенной выше процедуры формирования программы развития с многоцелевыми проектами.

Результаты компьютерного моделирования

Для выполнения компьютерного моделирования было разработано программное обеспечение формирования программ развития с учетом многоцелевых проектов посредством применения изложенной выше процедуры. Исходные данные для формирования программы включали три «рядовых» направления (с семью, пятью и девятью проектами) и многоцелевое направление с тремя проектами. Всего было проведено восемь серий экспериментов. Каждая серия состояла из шести экспериментов. Каждый эксперимент состоял в решении задачи (7) – (8) для $2^3 - 1 = 7$ вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития. Вариант $(x_{41}, x_{42}, x_{43}) = (0, 0, 0)$ был исключен из рассмотрения, так как на нем метрика σ_{ud}^h не определена.

Результаты решения задач (7) – (8) для одного из первой серии экспериментов и данные о «предпочтительности» вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития приведены в табл. 1.

Анализ данных показал, что для получения глобального оптимума исходной задачи необходимо решить задачу (7) – (8) для первых четырех (из семи) вариантов вхождения многоцелевых проектов, определяемых метрикой σ_{ud}^h . Соответствующая этим данным эмпирическая функция распределения глобального оптимума представлена на рис. 1.

Эмпирическая функция распределения глобального оптимума, построенная на данных серии из шести экспериментов, представлена на рис. 2.

Функция распределения позволяет ответить на поставленные выше вопросы. В частности, для гарантированного (с оценкой вероятности 1) получения глобального оптимума необходимо решить задачу (7) – (8) для четырех вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития. Если же решить задачу только для первых двух вариантов вхождения многоцелевых проектов, то вероятность получения глобального оптимума равна 0,33.

Результаты решения задач (7) – (8) для одного из второй серии экспериментов и данные о «предпочтительности» вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития приведены в табл. 2.

На рис. 3 показаны значения эмпирических функций распределения (p – ось абсцисс) и отклонения значений локального оптимума (Δq , % – ось ординат) от глобального при решении задач (7) – (8) для различных вариантов вхождения многоцелевых проектов.

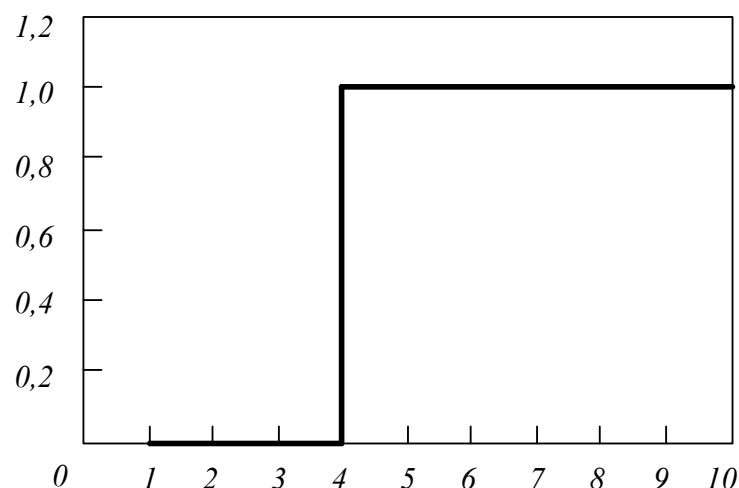


Рис. 1. Эмпирическая функция распределения глобального оптимума, построенная на данных одного эксперимента (табл. 1)

Fig. 1. Empirical distribution function of the global optimum based on data from one experiment (Table 1)

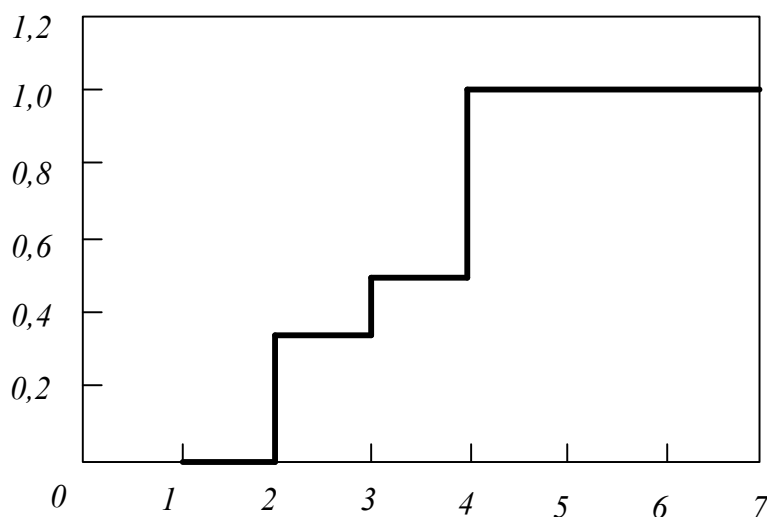


Рис. 2. Эмпирическая функция распределения глобального оптимума, построенная на данных шести экспериментов

Fig. 2. Empirical distribution function of the global optimum, based on data from six experiments

Опираясь на информацию, представленную на рис. 3, ЛПР может определить, исходя из текущей обстановки, наилучший для него баланс между вычислительной эффективностью (временем поиска глобального оптимума, определяемым числом решения задач (7) – (8) для различных вариантов вхождения многоцелевых проектов) и отклонением получаемого локального оптимума от глобального оптимума исходной задачи (3) – (4). В частности, при решении задачи (7) – (8) для вариантов вхождения многоцелевых проектов {1U2U3} из последовательности (14) оценка вероятности нахождения глобального оптимума равна 0, но оценка отклонения локального оптимума от глобального равна 9 %.

Заметим, что если n_m^{pr} – мощность множества «предпочтительных» для ЛПР решений задачи

(7) – (8), то вычислительная эффективность процедуры поиска решения будет улучшена в $2^{n_m} / 2^{n_m^{pr}} = 2^{(n_m - n_m^{pr})}$ раз по сравнению с вычислительной эффективностью исходной процедуры.

Выводы

Рассмотрена задача формирования программ развития, когда отдельные проекты направлений развития описываются эффективностью и размером инвестиций. Представляет интерес исследовать задачу формирования программ развития, когда проекты направлений развития кроме ограничений на размер инвестиций учитывают риски реализации проекта и ограничение на изменение операционного бюджета, связанного с его реализацией.

Сравнение эффективностей вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе решения задачи (7) – (8) и на основе метрики σ_{ud}^h (вторая серия экспериментов)

Comparison of the efficiencies of entry options for multi-purpose projects based on the solution of problem (7) – (8) and based on metrics σ_{ud}^h (first series of experiments)

$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mm_m})^h$	1 1 1	1 0 1	0 1 1	1 1 0	0 0 1	1 0 0	0 1 0
$\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	169	155	154	149	140	135	134
$\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	16151	14763	14178	13483	12790	12095	11510
$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mm_m})^h$	0 1 0	1 1 0	0 1 1	1 1 1	1 0 0	1 0 1	0 0 1
σ_{ud}^h	0,01009	0,00863	0,00838	0,00813	0,00760	0,00754	0,00750

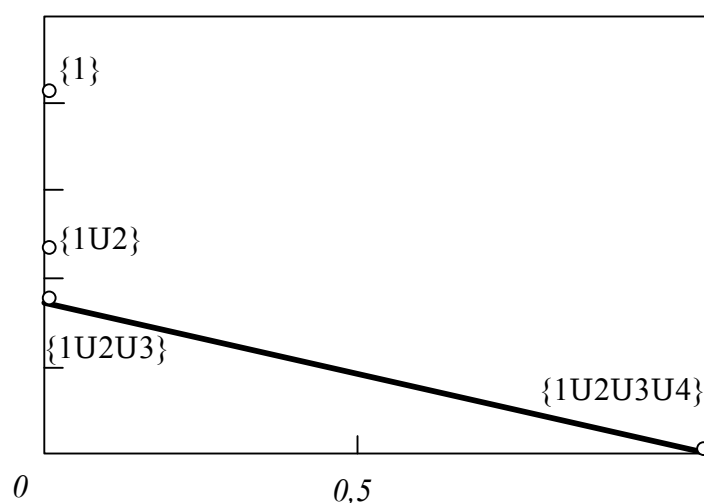


Рис. 3. Значения эмпирических функций распределения (p) и отклонения значений локального оптимума (Δq , %) от глобального при решении задач (7) – (8) для различных вариантов вхождения многоцелевых проектов

Fig. 3. The values of the empirical distribution functions (p) and the deviation of the values of the local optimum (Δq , %) from the global one when solving problems (7) – (8) for various variants of the entry of multi-purpose projects

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин А.В., Буркова И.В., Зимин В.В. Модели и механизмы управления эффективностью ИТ-процессов // Системы управления и информационные технологии. 2019. № 4 (78). С. 37–41.
2. Зимин А.В., Койнов Р.С., Зимин В.В. Интеллектуализация механизма планирования образовательной и научной деятельности преподавателя университета. В кн.: Труды V Международной научно-практической конференции, 14 апреля 2021 г. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2021. С. 434–439.
3. Селезнев А.А., Бурков В.Н., Зимин В.В. Формирование программы регионального развития с учетом рисков проектов // Экономика и менеджмент систем управления. 2014. № 3 (13). С. 58–66.

4. Бурков В.Н., Уандыкова М.К., Елеукулова А.Д. Многоцелевые проекты в задаче формирования программы развития нефтегазовой отрасли // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2017. Т. 17. № 4. С. 113–121.
5. Зильберова И.Ю., Маилян А.Л. Формирование программ развития с учетом рисков // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Т. 7. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN615.pdf>. (дата обращения: 01.12.2021). <https://doi.org/10.15862/90EVN615>

REFERENCES

1. Zimin A.V., Burkova I.V., Zimin V.V. Models and mechanisms for managing the effectiveness of IT processes. *Sistemy upravleniya i in-*

formatsionnye tekhnologii. 2019, no. 4 (78), pp. 37–41. (In Russ.).

2. Zimin A.V., Koinov R.S., Zimin V.V. Intellectualization of the mechanism of planning educational and scientific activities of a university teacher. In: *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, April 14, 2021* Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2021, pp. 434–439. (In Russ.).
3. Seleznev A.A., Burkov V.N., Zimin V.V. Formation of a regional development program taking into account the risks of projects. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2014, no. 3 (13), pp. 58–66. (In Russ.).
4. Burkov V.N., Uandykova M.K., Eleukulova A.D. Multi-purpose projects in the task of forming a program for the development of the oil and gas industry. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika»*. 2017, vol. 17, no. 4, pp. 113–121. (In Russ.).
5. Zil'berova I.Yu., Mailyan A.L. Formation of risk-based development programs. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*. 2015, vol. 7, no. 6. Available at URL: <http://nau-kovedenie.ru/PDF/90EVN615.pdf>. (Accessed: 01.12.2021). (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/90EVN615>

Сведения об авторах

Николай Юрьевич Ефимов, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: kolya42hec@gmail.com

Юрий Александрович Завьялов, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: yuri98opl@gmail.com

Максим Максимович Свинцов, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: svintzovmax@yandex.ru

Юрий Юрьевич Тишанинов, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: Tishaninov.ura@mail.ru

Павел Андреевич Хроменко, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: Pkhr335@yandex.ru

Валерий Викторович Зимин, д.т.н., доцент, профессор кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: Zimin.1945@mail.ru

Information about the authors

Nikolai Y. Efimov, Master's student of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: kolya42hec@gmail.com

Yurii A. Zav'yalov, Master's student of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: yuri98opl@gmail.com

Maksim M. Svintsov, Master's student of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: svintzovmax@yandex.ru

Yurii Yu. Tishaninov, Master's student of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: Tishaninov.ura@mail.ru

Pavel A. Khromenko, Master's student of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: Pkhr335@yandex.ru

Valerii V. Zimin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automation and Information Systems, Siberian State Industrial University
E-mail: Zimin.1945@mail.ru

© 2021 г. Н.Ю. Ефимов, Ю.А. Завьялов, М.М. Свинцов, Ю.Ю. Тишанинов, П.А. Хроменко, В.В. Зимин
Поступила в редакцию 10.12.2021 г.