

## Автоматизированный подбор руководителей образовательных проектов на основе генетических алгоритмов

Е. Е. Ковшов <sup>1</sup>✉, В. С. Кувшинников <sup>1</sup>, Л. Е. Осипенко <sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО "НИКИМТ – Атомстрой"

Алтуфьевское шоссе 43, стр. 2, Москва 127410, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский городской педагогический университет,

2-ой Сельскохозяйственный проезд 4, корп. 1, Москва 129226, Российская Федерация

✉ e-mail: KovshovEE@atomrus.ru

### Резюме

**Цель исследования.** Целью работы является проведение исследования возможности применения автоматизированных методов поиска решения для задачи формирования подбора кандидатов при решении широкого спектра бизнес задач с предусмотренной возможностью учесть влияние таких факторов, как: требования к качествам бизнес процессов, ограничения по компетенции кандидатов, занятость кандидатов в других процессах компании, планируемая срочность выполнения задач, объем наличествующих в пуле и ожидаемых задач, характеристики задач, частная политика компании при подборе кандидатов, политика компании в отношении рисков.

**Методы.** Приведена типологизация инновационных бизнес-задач по характеру предметной области, спектру целевых результатов, длительности выполнения и т.д. Рассмотрены внешние и внутренние факторы, обеспечивающие эффективную работу проектной команды и успешность проекта. Предложены наборы атрибутивных характеристик для оценки качества проектов и потенциальных проектантов. Рассмотрена структура алгоритма решения задачи формирования подбора кандидатов для решения набора задач. Приведены предпосылки для использования принципов генетического программирования при решении рассматриваемой задачи. Определены параметры реализации алгоритма поиска, критерии и ограничения. В среде Jupyter Lab v2 произведена реализация алгоритма, а также проведено моделирование, результаты которого представлены в тексте. Проведен относительный анализ практической эффективности алгоритма в зависимости от параметров моделирования с целью обоснования выбора их значений.

**Результаты.** В ходе исследования рассмотрена задача формирования подбора кандидатов для выполнения пула проектов с учетом ряда факторов. Разработан подход к решению задачи на основе генетического алгоритма эвристического поиска. Проведено численное моделирование в среде Jupyter Lab v2. Проанализированы результаты моделирования и подобраны параметры алгоритма.

**Заключение.** Предложенный подход позволяет не только автоматизировать подбор руководителей на основе накопленной истории данных, но и вносить коррективы в устоявшийся процесс для изменения вектора развития организации. Взаимодействие образования и информатики (информационных технологий) способно обогатить и расширить поле обеих наук в сфере комплектования инновационных проектных команд. Их объектный анализ, дополненный возможностями генетического программирования, в своей совокупности позволяет добиться заданных качеств руководителя инновационных проектных команд, способствующих максимизации пользы для бизнеса при минимизации материальных затрат.

В качестве результата вычислительных экспериментов с применением математического аппарата и технологий генетических алгоритмов, необходимо подчеркнуть возможность экстраполяции подобного рода подходов на любой уровень реализации инновационных проектов.

**Ключевые слова:** эволюционные вычисления; генетический алгоритм; цифровой рекрутинг; управление задачами.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Ковшов Е. Е., Кувшинников В. С., Осипенко Л. Е. Автоматизированный подбор руководителей образовательных проектов на основе генетических алгоритмов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(1): 162-180. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-162-180>.

Поступила в редакцию 19.01.2021

Подписана в печать 26.02.2021

Опубликована 31.03.2021

## Automated Leadership Selection Educational Projects Based on Genetic Algorithms

Evgeniy E. Kovshov <sup>1</sup> ✉, Vladimir S. Kuvshinnikov <sup>1</sup>, Ludmila E. Osipenko <sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC "NIKIMT – Atomstroy"

43 Altufevskoe highway, build. 2, Moscow 127410, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow City Pedagogical University

2nd Selskohozyastvennyy passage 4, build. 1, Moscow 129226, Russian Federation

✉ e-mail: KovshovEE@atomrus.ru

### Abstract

**Purpose or research.** The purpose of the study is to conduct a research of the possibility to use automated methods of finding a solution for the task of forming a selection of candidates in solving a wide range of business problems with the possibility of the influence of such factors as: requirements for the quality of business processes, restrictions on the competence of candidates, the employment of candidates in other processes of the company, planned urgency of fulfilling tasks, the amount of tasks in the pool and expected tasks, tasks characteristics, private policy of the company when selecting candidates, company's policy on risks.

**Methods.** A typology of innovative business tasks is given by the subject area, the range of target results, the duration of execution, etc. External and internal factors are considered to ensure the effective operation of the project team and the success of the project. There are offered sets of attributive characteristics for assessment of projects quality and potential projects. The structure of the algorithm for solving the problem of creating a selection of candidates for solving a set of problems is considered. Prerequisites for using principles of genetic programming in solving the problem under consideration are given. Search algorithm implementation parameters, criteria and constraints are defined. Algorithm was implemented as well as modeling in the Jupyter Lab v2 environment. The results are described in the text. A relative analysis of practical effectiveness of the algorithm was carried out depending on the modeling parameters to justify the selection of their values.

**Results.** The task of creating a selection of candidates for the implementation of projects pool considering a number of factors was described during the study. An approach to solving the problem based on a genetic heuristic search algorithm has been developed. A numerical simulation was performed in Jupyter Lab v2. Simulation results were analyzed, and algorithm parameters were selected.

**Conclusion.** The proposed approach allows not only automatize the selection of managers based on the accumulated data history, but also to adjust the established process to change the vector of organization development. The interaction of education and informatics (information technology) can enrich and expand the field of both sciences in the field of recruitment of innovative project teams. Their object analysis, supplemented by genetic programming capabilities, together allows you to achieve specified qualities of the head of innovative project teams that help maximize business benefits while minimizing material costs. As a result of computational experiments using

**Keywords:** evolutionary calculations; genetic algorithm; digital recruiting; task management.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Kovshov E. E., Kuvshinnikov V. S., Osipenko L. E. Automated Leadership Selection Educational Projects Based on Genetic Algorithms. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(1): 162-180 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-162-180>.

Received 19.01.2021

Accepted 26.02.2021

Published 31.03.2021

\*\*\*

## Введение

В настоящее время экономические показатели бизнес-компаний, способность к удержанию конкурентных отраслевых преимуществ зависят от их инновационного потенциала и инновационной активности [1-3]. Управление инновациями является достаточно сложной и многокритериальной задачей, поскольку включает анализ существенного количества таких разнородных элементов, как человеческие ресурсы, финансовая и технологическая составляющие инновационного проекта [4].

Одной из центральных компонент управления инновациями является рабочая сила. Постулируя тезис «Кадры решают все», владельцы бизнес-корпораций адекватно оценивают не только важность формирования сплоченной работоспособной проектной команды, но и поиск альтернативных вариантов для баланса «эффективность проектантов – качество инновационного продукта». Последний предполагает, что «Другие, такие же специалисты, как ты, подвергают твой материал столь мощным проверкам, что могут довести гонку до-

казательств до точки, когда всех твоих ресурсов может стать недостаточно для победы.» [4].

Это своеобразное «сражение» увеличивает стоимость гонки доказательств, умножает количество испытаний, изменяет форму новых объектов, тем самым актуализируя необходимость поиска решений, способных отслеживать и анализировать массивы показателей и параметров, описываемых большими данными и обрабатываемых сложными алгоритмами.

Широкий спектр обозначенных проблем обуславливает постановку трех важных задач: обоснование основных атрибутивных характеристик инновационного проекта и команды проектантов, а также способов управления ими на основе IT-решений.

Последовательно раскроем каждую из этих задач.

Говоря о поиске бизнес-компаниями идей для инновационных проектов, следует отметить, что характерной чертой современного постиндустриального общества является «превращение науки в техннауку». В симбиозе «фундамен-

тальная наука ↔ технология → богатство общества» наука является генератором новых идей и принципов для высокотехнологичных разработок. Технологии, в свою очередь, создают новые продукты и решения, расширяющие возможности человека [5].

Тенденция «прикладнизации науки» обусловила увеличение доли технологических разработок в общем объеме научных изысканий, а в итоге – возможность их типологизации по характеру предметной области на исследовательские, проектные и комплексные.

Коммерциализация науки, постепенное замещение фундаментальности критерием эффективности и практической пользы – определяют спектр целевых результатов инновационного проекта, который варьируется от поддерживающего, предполагающего совершенствование имеющихся знаний и решений, до универсального и прорывного.

Традиционная типологизация по длительности выполнения предполагает наличие краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных проектов.

Эти основные атрибутивные характеристики инновационного проекта обусловили следующее дискурсивное поле для обсуждения команды проектантов. Формируясь по типу театральных трупп, создаваемых на время для постановки какого-либо спектакля, такие проектные команды собирают «исполнителей» разных ролей. Принцип разнообразия предполагает, что научная продуктивность каждого члена проектной коман-

ды будет возрастать с увеличением его функций и специальностей, порождая «...нелинейное взаимодействие между ними и, как следствие, не аддитивное, а более резкое возрастание зависимости коллективного результата от усилий отдельных специалистов» [6].

В этой связи нам представляется важным обобщение основных атрибутов инновационной проектной команды как системного объекта, управляющим механизмом которой является мотивация проектантов на получение бизнесом максимальной пользы при минимизации затрат.

Соколов К.О. выделяет внешние и внутренние факторы, обеспечивающие эффективную работу инновационной проектной команды. Среди прочих он выделяет управленческие и организационные составляющие, например, занятость соискателя в иных проектах в качестве лидера, эксперта, исполнителя, а также оценку профессионального, личностного и психофизиологического потенциала членов инновационной команды [7].

Считаем, что функционирование инновационной проектной команды будет успешным при наличии в ней одного или нескольких специалистов с ученой степенью, ответственных за формулировку проблематики, построение дизайна исследования, а также обладающих достаточным авторитетом и опытом для привлечения наиболее эффективных проектантов [8].

Практика показывает, что в ряде случаев успех инновационного проекта определяется участием фронтмена; проектанта со специальными компетенциями, например, технической или индустриальной экспертизой и пр. [9].

Групповые проекты объединяет необходимость поиска действенных способов повышения эффективности коммуникации проектантов, например, при обсуждении сложных моментов, связанных с дизайном проекта, уточнении и дополнении неполных требований.

Для прорывных инновационных проектов важным является обоснование привлечения сидящих в «башне из слоновой кости» изобретателей-одиночек, какими были Эдисон или Райт.

Поскольку привлечение сторонних IT-специалистов, как правило, является весьма затратным, и, как любой проектант, они обладают как плюсами, так и минусами, а производительность каждого из них в конкретном инновационном проекте зависит от множества составляющих, то важно предложить некоторую объективную абстрактную метрику «крутизны» и для них тоже. В качестве таких атрибутивных характеристик нами приняты основные программистские статусы: Junior, Middle, Senior.

Основное профессиональное требование, предъявляемое к джуниору, состоит в умении самостоятельно и оперативно выполнять поставленные ему технические задачи. Кроме энергии и целеустремленности, для джуниоров важно наличие желания развиваться и учиться, а также умение спокойно относиться к критике.

Основное требование к миддл-разработчику – это понимание требований бизнеса и умение их воплощать в конкретные технические решения.

Самым высокостатусным IT-специалистом является синьор. Он должен обладать не только обширным опытом, глубоко понимать устройство библиотек и фреймворков, но и уметь оценивать технические риски проекта. «Синьор» обладает развитыми коммуникативными навыками, позволяющими ему рекомендовать конструктивные пути рефакторинга кода, а также успешно убеждать заказчика и команду. Пример набора некоторых атрибутов инновационного проекта и его потенциальных исполнителей приведен в табл. 1.

## Материалы и методы

Как отмечает научный сотрудник Оксфордского Института Интернета и Института А.Тьюринга Сандра Уэчер (Sandra Wachter), «Так называемая «аналитика трудовых ресурсов» (people analytics) играет все большую роль при принятии компаниями решений о найме, увольнении, оценке результативности и повышении сотрудников.» [10]. Однако следует отметить, что процесс нахождения уравнения, описывающего оптимальное поведение любой естественной системы, нельзя назвать простой задачей. По словам Хола Липсона, «прежде на создание одной такой оптимизационной модели у ученого могла уйти целая жизнь» [11].

**Таблица 1.** Пример набора атрибутов инновационного проекта и его потенциальных исполнителей со значениями**Table 1.** Example of an innovative project attributes set and its potential performers with the values

Атрибут / Attribute	Возможные значения атрибута / Possible attribute values	Значение коэффициента / Coefficient value	Относительный вес атрибута / Relative weight of the attribute
Инновационный проект / Innovative project			
Классификация	Исследовательский	1	1
	Проектный	2	
	Комплексный	3	
Сроки исполнения	Краткосрочный	1	2
	Среднесрочный	2	
	Долгосрочный	3	
Целевой результат	Поддерживающий	1	3
	Универсальный	2	
	Прорывной	3	
Потенциальный проектант / Potential designer			
Образование	Среднее специальное	1	1
	Высшее	2	
	Наличие ученой степени	3	
Занятость в иных проектах	3 и более	1	2
	2	2	
	1	3	
Специальные инновационные компетенции	Нет	1	2
	Есть (не уникальные для проекта)	2	
	Есть (уникальные для проекта)	3	
Опыт инновационного проектирования	Разрозненный	1	3
	Есть, единичный (1-2 проекта)	2	
	Есть, существенный (3 и более проекта)	3	
«Командность»	Никогда (индивидуальный контрибьютер)	1	3
	Все-равно	2	
	Всегда	3	
Программистский статус	Junior	1	3
	Middle	2	
	Senior	3	

В настоящее время для решения оптимизационных задач используются новые парадигмы, осуществляющие поиск баланса между эффективностью и качеством решений за счет «выживания сильнейших альтернативных решений» в неопределенных и нечетких условиях [12-15] и др. Одна из таких парадигм – это генетическое программирование. Его возможности очень ярко выразил М. Шмидт, отмечая, что физики (Ньютон или Кеплер) могли бы запустить генетический алгоритм на компьютере и всего после нескольких часов вычислений получить законы, объясняющие падение яблока или движение планет» [16].

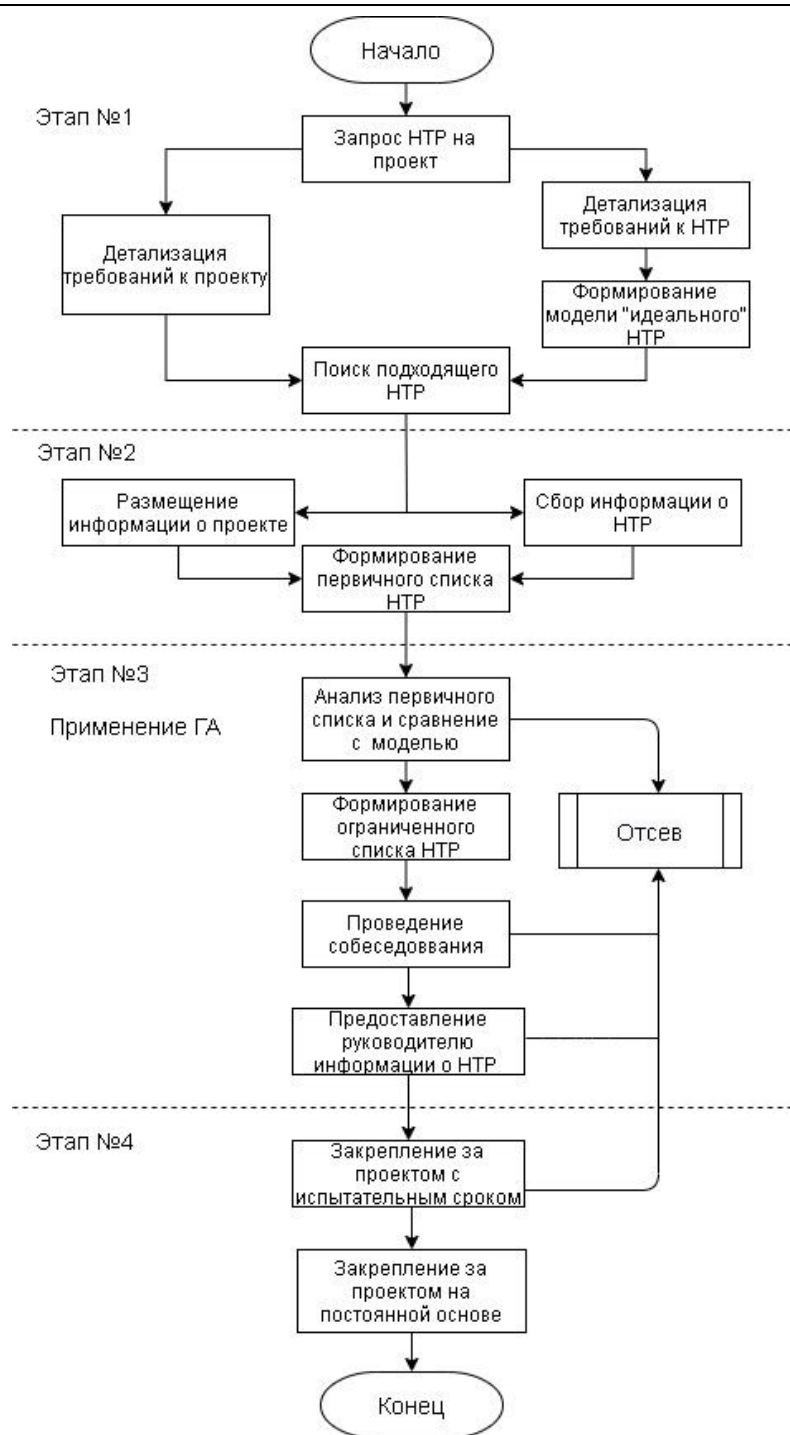
Генетическое программирование повторяет принципы биологической эволюции. Генетический алгоритм (далее – ГА) начинает с составления уравнений путем случайного сопоставления различных строительных блоков, состоящих из математических выражений, а затем проверяет, насколько хорошо получившиеся уравнения описывают данные. Уравнения, которые не проходят проверку, отбраковываются, а те, которые демонстрируют определенный потенциал, перекомпоновываются таким образом, чтобы в конечном итоге из них могла получиться точная математическая модель [17].

ГА намного эффективнее традиционной «регрессии». Так, при регрессион-

ном поиске форма уравнения (зависимости) задается заранее, а параметры уравнения оптимизируются таким образом, чтобы соответствовать данным. Однако в ряде случаев необходим поиск самих уравнений, включая арифметические операторы, тригонометрические и логарифмические функции, константы и т.д.

Эффективность выбора ГА для повышения качества управления цифровым рекрутингом инновационных проектных команд обусловлена такими особенностями, как: работа с закодированным множеством параметров; одновременный поиск среди нескольких альтернатив на заданном множестве решений; использование целевой функции (далее – ЦФ) для оценки качества решений; а также вероятностный подход к анализу оптимизационных задач.

Традиционно алгоритм оценки потенциала членов инновационной проектной команды представляет собой нижеизложенную поэтапную процедуру. Она начинается с отбора характеристик, определяющих потенциал инновационной команды; выбора соответствующей методики оценки; разработки сценария оценивания; проведения оценки; обработки полученной информации; интерпретации результатов; формулировки выводов; разработки рекомендаций по комплектованию и развитию команды (рис. 1).



**Рис. 1.** Последовательность подбора потенциальных проектантов для выполнения инновационного проекта

**Fig. 1.** The sequence of selection of potential designers for the implementation of an innovative project

Для работы ГА выбирают множество натуральных параметров оптимизационной проблемы и кодируют их в последовательность конечной длины в некотором алфавите. Цикл алгоритма

повторяется до тех пор, пока не будет выполнено заданное число итераций алгоритма или на некоторой генерации не будет получено решение требуемого качества, или в случае нахождения ло-



кального оптимума и возникновения преждевременной сходимости, когда алгоритм не может найти выход из области влияния локального экстремума.

В рассматриваемом процессе оптимизации управления подбором команды исследуемое пространство параметров достаточно велико, и задача не требует строгого нахождения глобального оп-

тимума. Достаточно за короткое время найти приемлемое решение, попадающее в множество наиболее подходящих. В связи с этим наиболее целесообразно использовать ГА на этапе №3 (рис. 1). Первым делом следует определить исходные данные процесса подбора проектанта для выполнения конкретного инновационного проекта (табл. 2).

**Таблица 2.** Исходные данные для работы генетического алгоритма

**Table 2.** Initial data for the genetic algorithm operation

1.	Потенциальный фронтмен / Potential frontman	$F=\{1...N_F\}$ , $N_F$ – число потенциальных фронтменов
2.	Инновационный проект / Innovative project	$I=\{1...N_I\}$ , $N_I$ – число инновационных проектов

Каждый объект (элемент любого вектора из табл. 1) можно представить в виде совокупности атрибутов, численно характеризующих данный объект. Атрибуты определены на ограниченном множестве положительных значений. Вектор подбора:  $SV = \{F_1, F_2, \dots, F_I\}$ , где  $F_I$  – номер фронтмена, подобранного на  $i$ -ый инновационный проект,  $I=\{1, \dots, N_I\}$ ,  $F=\{1, \dots, N_F\}$ .

Таким образом, задача подбора потенциального претендента на выполнение определенного инновационного проекта сводится к задаче выбора такого варианта вектора  $SV$  из числа возможных, при котором с учетом ограничений и критериев претендент будет в максимальной степени способствовать достижению поставленной цели.

**Ограничения:** Число инновационных проектов не должно превышать число потенциальных проектантов.

**Критерии:** На конкретный инновационный проект должен быть назначен один фронтмен. Степень соответствия атрибутов фронтмена-претендента (FA) атрибутам проекта (PA) оценивается путём приведения к универсальным атрибутам (UA) с помощью таблицы соответствия. Таблица формируется в зависимости от конкретного случая и допускает many-to-many связи. Значение атрибутов приводится к шкале универсальных атрибутов, содержащей целые значения от 0 до 9. В зависимости от разности значений соответствующих атрибутов кандидата и проекта из отдельной таблицы констант относительной эффективности (REC) выбирается значение эффективности назначения кандидата для выполнения проекта.

Для более точной оценки результативности назначения, отдельно учитывается объём работ (трудоемкость) по

каждому из атрибутов проекта (PL). Ориентировочный целевой удовлетворительный объём затрат на завершение  $i$ -го проекта определяется по формуле:

$$SC_i = \sum_{k=1}^{N_A} \left( \frac{PL_{i,k}}{REC(RUAF_{i,j,k} - UAP_{i,k})} \right) + CA_i, \quad (1)$$

где  $i$  – номер проекта из  $\{1 \dots N_I\}$ ;  $j$  – номер фронтмена-кандидата;  $N_A$  – число универсальных атрибутов;  $k$  – номер универсального атрибута;  $PL_{i,k}$  – трудоёмкость  $k$ -го атрибута у  $i$ -го объекта;  $RUAF_{i,j,k}$  – требуемый при выполнении  $i$ -го проекта уровень  $k$ -го универсального атрибута у  $j$ -го кандидата;  $UAP_{i,k}$  – уровень  $k$ -го универсального атрибута у  $i$ -го проекта;  $REC()$  – функция относительной эффективности, значения которой заранее заносятся в таблицу для каждого атрибута;  $CA_i$  – индивидуальный настраиваемый коэффициент для  $i$ -го проекта, позволяющий учесть специфику требований к выполнению. Коэффициент  $CA$  позволяет настроить требовательность проекта к способностям фронтмена, связанную с повышенной срочностью, требовательностью к качеству выполнения или другими требованиями, повышающими объём требуемых ресурсов.

Ожидаемый объём затрат на завершение  $i$ -го проекта определяется по формуле

$$PC_i = \sum_{k=1}^{N_A} \left( \frac{PL_{i,k}}{REC(UAF_{j,k} - UAP_{i,k})} \right) + CW_j, \quad (2)$$

где  $i$  – номер проекта из  $\{1 \dots N_I\}$ ;  $j$  – номер фронтмена-кандидата;  $N_A$  – число универсальных атрибутов;  $k$  – номер универсального атрибута;  $PL_{i,k}$  – трудоёмкость  $k$ -го атрибута у  $i$ -го объекта;

$UAF_{j,k}$  – уровень  $k$ -го универсального атрибута у  $j$ -го кандидата;  $UAP_{i,k}$  – уровень  $k$ -го универсального атрибута у  $i$ -го проекта;  $REC()$  – функция относительной эффективности;  $CW_j$  – оценка уровня текущей загруженности  $j$ -го кандидата. Коэффициент  $CW$  учитывает дополнительные затраты ресурсов, связанные с назначением на проект уже занятого кандидата.

При составлении начальной популяции для генетического алгоритма, каждая особь будет представлена хромосомой. Хромосома представляет из себя вектор подбора  $SV$ , содержащий, согласно числу проектов,  $N_I$  номеров претендентов, распределённых в случайном порядке. Поскольку проектант может быть назначен на выполнение только одного инновационного проекта одновременно, в рассматриваемых хромосомах каждый ген (номер проектанта) должен встречаться только один раз. Такая разновидность «перечислимых хромосом с уникальными генами» часто используется в комбинаторных задачах. Стандартная операция скрещивания для этого типа хромосом некорректна, поэтому здесь используется более сложная схема двухточечного скрещивания.

Оценка эффекта от назначения на проекты претендентов из каждого вектора подбора производится по формуле:

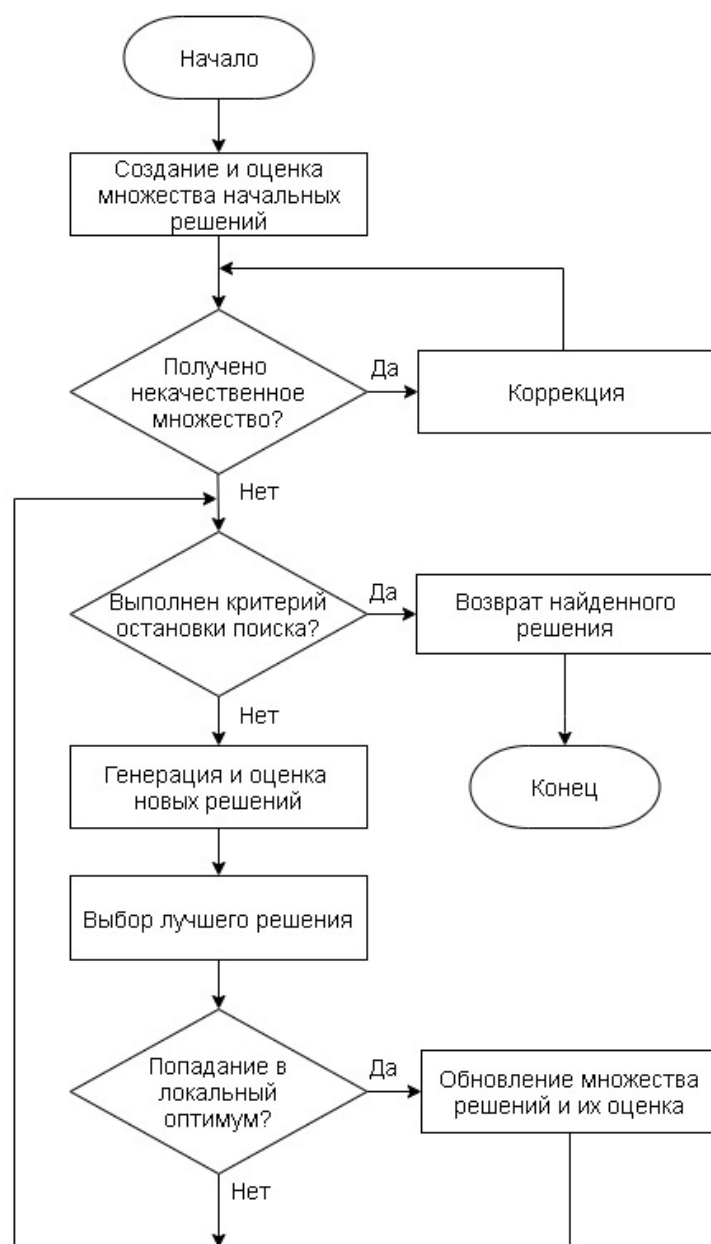
$$AE_g = \sum_{i=1}^{N_I} LOSS(SC_i - PC_i), \quad (3)$$

где  $g$  – номер подбора в популяции;  $N_I$  – число проектов;  $k$  – номер универсального атрибута;  $LOSS()$  – функция

потерь, определяющая зависимость размера ресурсных потерь, вызванную как при недостатке привлеченных на проект ресурсов, так и при избытке. Обычно недостаток привлеченных ресурсов опаснее избытка, ведь он выражается в недостатке опыта у специалиста, приводит к снижению качества и затягиванию сроков выполнения. Однако назначение избыточно ценного специалиста на про-

стой проект приводит к косвенным потерям, связанным с переплатами за профессионализм или необоснованного риска возникновения временной нехватки опытных кадров при появлении более сложных проектов.

Для организации работы ГА (рис. 2) и его последующей реализации определим следующие понятия.



**Рис. 2.** Блок-схема работы генетического алгоритма для получения оптимального решения

**Fig. 2.** Flowchart of the genetic algorithm for obtaining the optimal solution

**Целевая функция** - численно характеризует результат подбора проектантов и соответствует эффекту от назначения АЕ.

**Популяция** – совокупность из нескольких векторов  $SV$ .

**Размер популяции** – общее число элементов в векторах  $SV$ . Размер популяции задают до начала работы ГА. В течение всего периода работы он остается постоянным.

**Особь** – один вектор  $SV$ .

**Ген** – элемент вектора  $SV$ .

**Критерий прекращения работы ГА:** получение решения требуемого качества; попадание решения в глубокий локальный оптимум целевой функции; истечение допустимого времени поиска.

Следующий шаг предполагает определение характеристик и значений атрибутов (табл. 2), от которых зависят весовые коэффициенты кандидата и вакансии.

Последовательность работы генетического алгоритма для получения оптимального решения задачи рекрутинга проектантов изображена на рис. 2.

Программная реализация приведенной модели ГА осуществляется в среде программирования Jupyter Lab v2 [18] с использованием как свободно-распространяемых библиотек, модулей и программных компонентов, преимущественно с открытым исходным кодом.

## Результаты и их обсуждение

Для оценки поведения алгоритма необходимо сформировать набор на-

чальных условий. В качестве начальных условий выступают такие скалярные величины, как:

- со стороны общей модели: число универсальных атрибутов, число претендентов, число проектов, набор правочных коэффициентов (CA, CW);

- со стороны модели алгоритма: размер популяции, размер элитной группы, размер вымирающей группы, число эпох;

- и такие векторные величины, как:

- со стороны общей модели: набор векторов атрибутов претендентов, набор векторов атрибутов проектов, набор векторов трудоёмкости атрибутов проектов;

- со стороны модели алгоритма: размер популяции, размер элитной группы, размер вымирающей группы, число эпох.

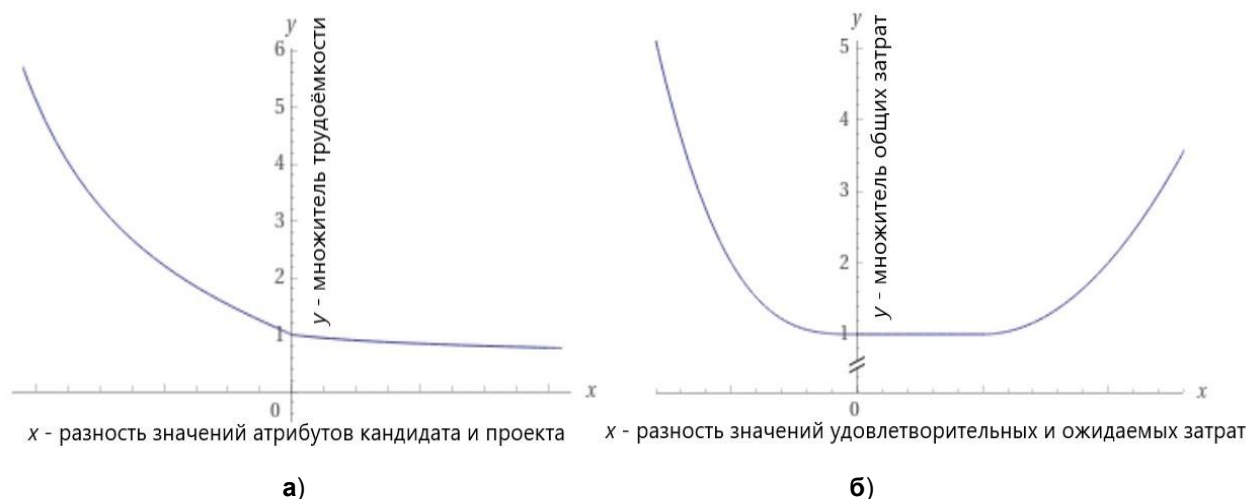
Кроме набора скалярных и векторных величин необходимо определить вид функций  $REC()$  и  $LOSS()$ , подобрать коэффициенты для корректного отражения зависимостей относительной эффективности и функции потерь соответственно. Зависимость  $REC()$  характеризует "политику организации" в отношении поручения проектов и назначения сотрудников на должности. В зависимости от характера функции, сотрудникам будут с большей, либо меньшей вероятностью поручаться проекты "на вырост". Зависимость  $LOSS()$  отражает особенности баланса между предоставлением ресурсов с избытком, либо с недостатком.

Пример возможных зависимостей для функции относительной эффективности  $REC()$  и стоимости  $LOSS()$  приведен на рис. 3а и 3б соответственно.

Представленные на рис. 4 зависимости предполагают значительное увеличение трудоёмкости проекта при недостатке квалификации претендента, а также ориентацию алгоритма на подбор преимущественно компетентных претендентов или претендентов с избыточной компетентностью. Модель может предполагать отдельную форму упомя-

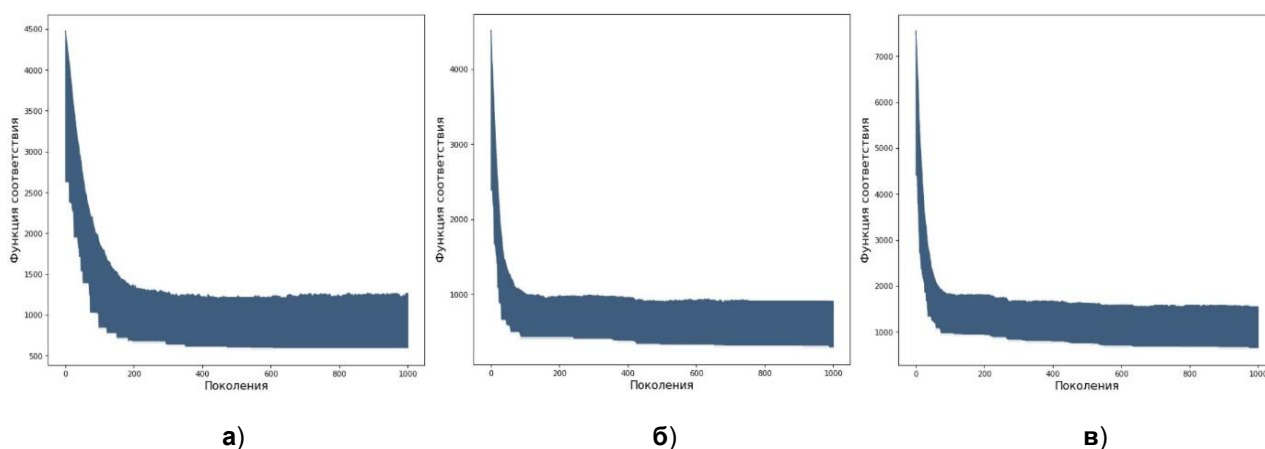
нутых зависимостей для каждого конкретного атрибута или вида проекта. Точный вид зависимостей и значения коэффициентов могут быть получены путём оптимизации параметра с применением одного из методов машинного обучения с учителем при наличии обучающих примеров.

Пример результатов моделирования с различными параметрами модели при заранее сформированных рандомизированных значениях атрибутов и трудоёмкостей приведен на рис. 4а – 4в.



**Рис. 3.** Пример возможных форм зависимости для функций  $REC()$  и  $LOSS()$

**Fig. 3.** Example of possible dependencies for the  $REC()$  and  $LOSS()$  functions()



**Рис. 4.** Пример результатов моделирования с различными параметрами модели

**Fig. 4.** Example of simulation results with different model parameters

На рисунках приведены значения диапазона разброса функции потерь среди членов популяции для следующих значений параметров модели: 8 атрибутов, 25 проектов, 30 претендентов на рис. 4а; 8 атрибутов, 25 проектов, 50 претендентов на рис. 4б; 16 атрибутов, 25 проектов, 50 претендентов на рис. 4в.

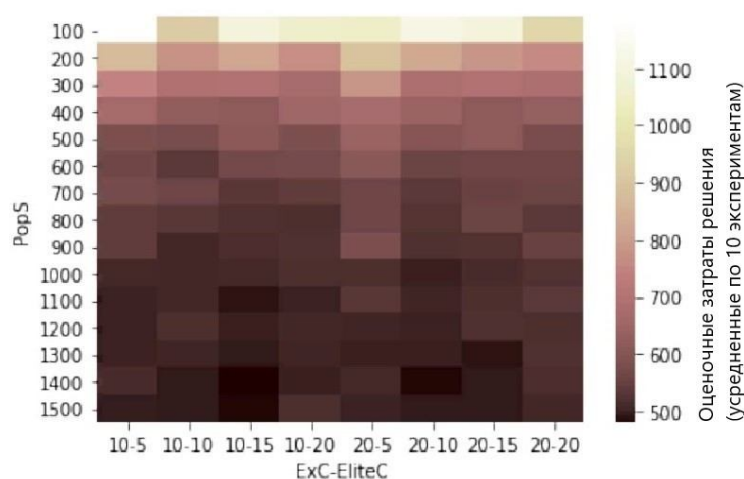
Вопросу выбора параметров моделирования посвящены многие исследовательские работы [19, 20]. От параметров алгоритма зависит ресурсоёмкость алгоритма, время его выполнения и качество получаемого результата. Для набора параметров *в* проведен ряд экспериментальных расчетов при различных сочетаниях параметров алгоритма: размер популяции от 100 до 1500 особей с шагом 100, размер элитной группы от 5 до 20 процентов с шагом 5, раз-

мер вымирающей группы от 10 до 20 процентов с шагом 10. Значения усредненных размеров оценочных затрат полученных решений приведены в таблице на рис. 5а и в псевдо-цветной таблице на рис. 5б. EliteC обозначает размер элитной группы в процентах, ExC – размер вымирающей группы, члены которой не имеют потомства, в процентах, а PopS определяет число особей в популяции. При расчетах применялся одинаковый набор ключей (seed) случайных величин для каждого нового набора параметров.

Для наглядности рассмотрим график зависимости лучшей усредненной стоимости выполнения набора проектов от размера популяции (рис. 6а). По графику видно, что примерно в районе значения 1000 особей прирост эффективности решения существенно снижается.

EliteC	10				20			
EliteC	5	10	15	20	5	10	15	20
PopS								
100	1189.1	923.2	1099.1	1061.8	1051.0	1113.1	1091.4	951.6
200	876.6	776.4	826.2	773.6	895.2	828.0	783.0	760.7
300	749.3	691.2	694.5	669.1	785.3	683.5	696.2	685.6
400	667.7	623.9	618.4	653.7	674.2	642.6	618.1	628.7
500	584.9	575.8	613.1	584.0	642.1	601.0	617.9	580.2
600	566.1	534.4	571.9	572.8	609.5	556.8	562.2	561.7
700	572.8	563.2	531.6	540.2	563.2	535.6	555.2	557.4
800	540.0	531.5	521.2	518.1	561.5	526.5	556.9	534.4
900	540.4	507.9	516.4	520.4	584.5	520.1	524.0	553.3
1000	509.3	506.3	508.9	518.2	517.6	498.7	513.9	523.9
1100	501.7	506.3	489.9	501.6	533.2	505.1	518.9	534.1
1200	502.8	519.5	499.3	508.3	505.2	501.4	520.9	517.0
1300	501.2	503.9	494.0	504.9	498.7	500.2	490.2	519.8
1400	511.6	493.6	481.0	500.0	509.0	485.7	492.4	516.4
1500	497.3	493.9	485.7	518.0	502.1	493.4	492.8	507.1

а)

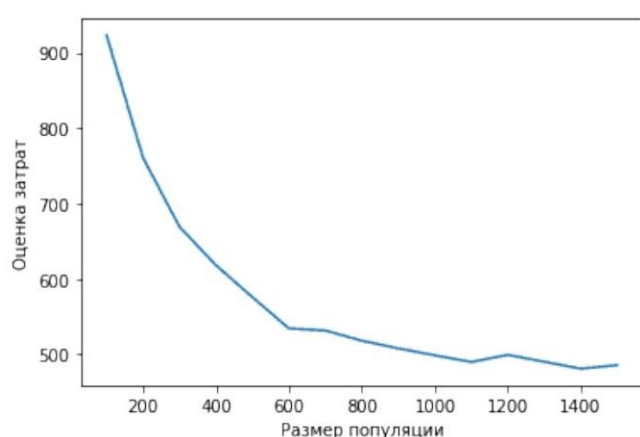


б)

Рис. 5. Результаты моделирования при различных параметрах алгоритма

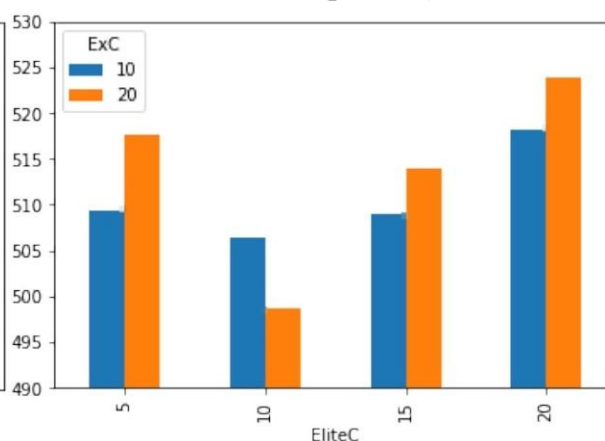
Fig. 5. Simulation results for different algorithm parameters

Увеличение размера популяции сопровождается ростом объема вычислений, из чего следует, что желательно выбрать по возможности меньший размер популяции. Исходя из характера поведения вышеупомянутой зависимости, выбираем размер в 1000 особей для



а)

следующих параметров модели: 16 атрибутов, 25 проектов, 50 претендентов. Изучим зависимость размера затрат при выбранном размере популяции от размера элитной группы и объема вымирающих особей, не имеющих потомства в новом поколении (рис. 6б).



б)

**Рис. 6.** Зависимость затрат от размера популяции (а) и других параметров при размере популяции в 1000 особей (б)

**Fig. 6.** The dependence of costs on the population size (а) and other parameters for a population size of 1000 individuals (б)

Согласно полученным результатам, при общем объеме популяции в 1000 особей рекомендуемый объем элитной группы – 100 особей, вымирающей группы без потомства – 200 особей.

## Выводы

Предложенный подход позволяет не только автоматизировать подбор руководителей на основе накопленной истории данных, но и вносить коррективы в устоявшийся процесс для изменения вектора развития организации.

Взаимодействие образования и информатики (информационных технологий) способно обогатить и расширить поле обеих наук в сфере комплектова-

ния инновационных проектных команд. Их объектный анализ, дополненный возможностями генетического программирования, в своей совокупности позволяет добиться заданных качеств руководителя инновационных проектных команд, способствующих максимизации пользы для бизнеса при минимизации материальных затрат.

В качестве результата вычислительных экспериментов с применением математического аппарата и технологий генетических алгоритмов, необходимо подчеркнуть возможность экстраполяции подобного рода подходов на любой уровень реализации инновационных проектов.

### Список литературы

1. Давидсон Н., Мариев О., Пушкарёв А. Региональные факторы инновационной активности российских предприятий // Форсайт. 2018. № 3. С. 62 –72.
2. Кашпаров Д. В., Кочин М. С. От тренинга стартапа как инструмента обучения разработке инноваций к инновационной экономике региона и страны // Вестник БФУ им. И. Канта. 2017. №4. С. 52–59.
3. Кэлоф Д. Л. Повышение эффективности инновационной деятельности компаний // Форсайт. 2018. Т. 12. № 3. С. 30–33.
4. Латур Бруно. Наука в действии: следуя за учеными и инженерами внутри общества / Бруно Латур; пер. с англ. К. Федоровой; СПб.: Изд-во Европейского университета в СПб. 2013. 414 с.
5. Мамчур Е.А. Фундаментальная наука и технологии: поиски механизмов взаимодействия // Современные технологии: философско- методологические проблемы. М., 2010. URL: <http://iph.ras.ru/uplfile/natsc/articals/mamchur/modem-tehnology.pdf> (дата обращения: 03.05.2020).
6. Яблонский А.И. Модели и методы исследования науки. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 400 с.
7. Соколов К. О. Оценка потенциала инновационной команды // Дайджест-финансы. 2011. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-potentsiala-innovatsionnoy-komandy> (дата обращения: 08.05.2020).
8. Пельц Д., Эндрюс Ф. Ученые в организациях. Об оптимальных условиях для исследований и разработок. М., 1973.
9. Рассказова В.В. Командообразование в инновационных стартап-проектах // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 2-3. С.66-68; URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1898> (дата обращения: 08.05.2020).
10. Форд М. Роботы наступают: Развитие технологий и будущее без работы. [пер. с англ.]. М.: Альпина нон-фикшн, 2019. 430 с.
11. Stevenson M. An Optimist's Tour of the Future: One Curious Man Sets Out to Answer What's Next? // Avery; No Edition Stated edition (February 3, 2011). 384 p.
12. Кречетов И. А., Романенко В.В. Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. 2020. № 2. С. 252–277.
13. Сайранов А.С., Нефедов Д.Г., Русяк И.Г. Применение генетических алгоритмов для управления организационными системами при возникновении нештатных ситуаций // Компьютерные исследования и моделирование. 2019. Т. 11, № 3. С. 533-556.
14. Чеканин В.А., Ковшов Е.Е., Хуэ Н.Н. Повышение эффективности эволюционных алгоритмов при решении оптимизационных задач упаковки объектов // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3. С. 63-67.



15. Koz John R. Human-Competitive Results Produced by Genetic Programming, Genetic Programming and Evolvable Machines 11, nos. 3-4 (September 2010), <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1831232>.
16. Пресс-релиз Национального научного фонда (National Science Foundation) Maybe Robots Dream of Electric Sheep, But Can They Do Science?", April 2, 2009, [http://www.nsf.gov/mobile/news/news\\_summ.jsp?cntn\\_id=114495](http://www.nsf.gov/mobile/news/news_summ.jsp?cntn_id=114495)
17. Schmidt Michael and Lipson Hod Distilling Free-Form Natural Laws from Experimental Data, *Science* 324 (April 3, 2009) [http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/Science09\\_Schmidt.pdf](http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/Science09_Schmidt.pdf).
18. Perkel J. M. Why Jupyter is data scientists' computational notebook of choice // *Nature*. 2018. Vol. 563. №. 7732. P. 145-147.
19. Чеканин В. А., Куликова М. Ю. Адаптивная настройка параметров генетического алгоритма // *Вестник МГТУ Станкин*. 2017. №. 3. С. 85-89.
20. Bernal E. et al. Imperialist competitive algorithm with dynamic parameter adaptation using fuzzy logic applied to the optimization of mathematical functions // *Algorithms*. 2017. Vol. 10. №. 1. P. 18.

## References

1. Davidson N., Mariev O., Pushkarev A. Regional'nye faktory innovatsionnoi aktivnosti rossiiskikh predpriyatii [Regional factors of innovation activity of Russian enterprises]. *Forsait = Foresight and STI Governance*, 2018, vol 12, no. 3, pp. 62 –72 (In Russ.).
2. Kashparov D., Kochin M. Ot treninga startapa kak instrumenta obucheniya razrabotke innovatsii k innovatsionnoi ekonomike regiona i strany [From startup training as a training tool for developing innovations to the innovative economy of the region and country]. *Vestnik BFU im. I. Kanta = Bulletin of Immanuel Kant Baltic Federal University*, 2017, no. 4, pp. 52-59 (In Russ.).
3. Kilov D. Povyshenie effektivnosti innovatsionnoi deyatel'nosti kompanii [Improving the efficiency of innovative activity of companies]. *Forsait = Foresight and STI Governance*, 2018, vol. 12, no. 3, pp. 30-33 (In Russ.).
4. Latour Bruno. *Nauka v deistvii: sleduya za uchenymi i inzhenerami vnutri obshchestva* [Science in action: How to Follow Scientists and Engineers through Society]. St. Petersburg, 2013. 414 p. (In Russ.).
5. Mamchur E. [Fundamental science and technology: search for mechanisms of interaction]. *Sovremennye tekhnologii: filosofsko-metodologicheskie problemy* [Modern Technologies: Philosophical and Methodological Problems]. Moscow, 2010 (In Russ.). Available at: <https://iphras.ru/uplfile/natsc/articals/mamchur/modern-tehnology.pdf>

6. Yablonsky A. *Modeli i metody issledovaniya nauki* [Models and methods of research of science]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2001. 400 p. (In Russ.).

7. Sokolov K. Otsenka potentsiala innovatsionnoi komandy [Evaluating the potential of an innovative team]. *Daidzhest-finansy = Digest-Finance*, 2011, no. 8 (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-potentsiala-innovatsionnoy-komandy>

8. Peltz D., Andrews M. *Uchenye v organizatsiyakh. Ob optimal'nykh usloviyakh dlya issledovaniy i razrabotok* [Scientists in organizations. About optimal conditions for research and development]. Moscow, 1973 (In Russ.).

9. Rasskazova V. Komandoobrazovanie v innovatsionnykh startup-proektakh [Team-building in innovative startup projects]. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki = Scientific Review Pedagogical Science*, 2019, vol 2-3, pp. 66-68 (In Russ.). Available at: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1898>

10. Ford M. *Roboty nastupayut: Razvitie tekhnologii i budushchee bez raboty* [Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless]. Moscow, 2019. 430 p. (In Russ.).

11. Stevenson M. *An Optimist's Tour of the Future: One Curious Man Sets Out to Answer What's Next?* (Avery No Edition Stated edition), 2011, 384 p.

12. Krechetov I., Romanenko V. Realizatsiya metodov adaptivnogo obucheniya [Implementation of adaptive learning methods]. *Voprosy obrazovaniya = The Issue of Education*, 2020, no. 2, pp. 252-277 (In Russ.).

13. Sairanov A., Nefedov D., Rusyak I. Primenenie geneticheskikh algoritmov dlya upravleniya organizatsionnymi sistemami pri vozniknovenii neshtatnykh situatsii [In the Application of genetic algorithms for managing organizational systems in the event of emergency situations]. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie = Computer Research and Modeling*, 2019, vol. 11, no. 3, pp 533-556 (In Russ.).

14. Chekanin V, Kovshov E., Hue N. Povyshenie effektivnosti evolyutsionnykh algoritmov pri reshenii optimizatsionnykh zadach upakovki ob"ektov [Increase of efficiency of evolutionary algorithms at the decision optimization tasks of objects packing]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii = Control Systems and Information Technologies*, 2009, vol 37, no. 3, pp. 63-67 (In Russ.).

15. Koza J. Human-competitive results produced by genetic programming *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 2010, vol. 11, no. 3-4, pp. 251-284.

16. Press-reliz Natsional'nogo nauchnogo fonda [National science Foundation Press release] (National Science Foundation), *Maybe Robots Dream of Electric Sheep, But Can They Do Science?* 2009. April 2. Available at: [http://www.nsf.gov/mobile/news/news\\_summ.jsp?cntn\\_id=114495](http://www.nsf.gov/mobile/news/news_summ.jsp?cntn_id=114495)

17. Schmidt M., Lipson H, Distilling Free-Form Natural Laws from Experimental Data *Science*, 2009, 324 p. Available at: [http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/Science09\\_Schmidt.pdf](http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/Science09_Schmidt.pdf).

18. Perkel J. M. Why Jupyter is data scientists' computational notebook of choice. *Nature*, 2018, vol. 563, no. 7732, pp. 145-147.
19. Chekanin V. A., Kulikova M. Yu. Adaptivnaya nastroyka parametrov geneticheskogo algoritma [Adaptive adjustment of genetic algorithm parameters]. *Vestnik MGTU Stankin = Bulletin of MSTU Stankin*, 2017, no. 3, pp. 85-89 (In Russ.).
20. Bernal E. et al. Imperialist competitive algorithm with dynamic parameter adaptation using fuzzy logic applied to the optimization of mathematical functions. *Algorithms*, 2017, vol. 10, no. 1, p. 18

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Ковшов Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, АО "НИКИМТ – Атомстрой", г. Москва, Российская Федерация, e-mail: KovshovEE@atomrus.ru

**Evgeniy E. Kovshov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, JSC "NIKIMT – Atomstroy", Moscow, Russian Federation, e-mail: KovshovEE@atomrus.ru

**Кувшинников Владимир Сергеевич**, АО "НИКИМТ – Атомстрой", г. Москва, Российская Федерация, e-mail: KuvshinnikovVS@atomrus.ru

**Vladimir S. Kuvshinnikov**, JSC "NIKIMT – Atomstroy", Moscow, Russian Federation, e-mail: KuvshinnikovVS@atomrus.ru

**Осипенко Людмила Евгеньевна**, доктор педагогических наук, доцент, Московский городской педагогический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: OsipenkoLE@mgpu.ru

**Ludmila E. Osipenko**, Dr. of Sci. (Pedagogical), Associate Professor, Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russian Federation, e-mail: OsipenkoLE@mgpu.ru