

Научная статья

УДК 004.9+629.73:005.591.6

<https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-5>

Управление портфелями патентных прав в организациях авиационной промышленности

Сергей Игоревич Прудников*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье представлен алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав на основе методов генетического программирования и роя частиц. Алгоритм позволяет выбирать метод оптимизации в зависимости от структурированности данных, требуемой интерпретируемости результатов, доступных ресурсов и размера задачи. Метод генетического программирования рекомендуется для стратегических задач с небольшими портфелями, где важна объяснимость решений, а метод роя частиц применим для быстрой оптимизации крупных портфелей. На примерах из области авиационной техники продемонстрирована эффективность алгоритма, подтвержденная решением реальных задач с использованием авторского программного обеспечения.

Ключевые слова: авиационная промышленность, управление инновациями, интеллектуальная собственность, результаты интеллектуальной деятельности, генетическое программирование, метод роя частиц

Для цитирования: Прудников С. И. Управление портфелями патентных прав в организациях авиационной промышленности // Вестник кибернетики. 2026. Т. 25, № 1. С. 49–63. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-5>.

Original article

Patent portfolio management in aviation industry companies

Sergey I. Prudnikov*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia*

Abstract. This article presents an algorithm for generating and improving patent portfolios via genetic programming and particle swarm optimization. The specified algorithm enables selection of an optimization method according to the following parameters: data organization, expected results interpretability, resources availability, and task size. The study defines genetic programming as a recommended method for small portfolios in solving strategic tasks that require solution interpretability, while particle swarm optimization as applicable practice for rapid optimization of large portfolios. The author demonstrates the algorithm's efficiency in aircraft engineering by addressing existent problems using self-created software.

Keywords: aviation industry, innovation management, intellectual property, intellectual property asset, genetic programming, particle swarm optimization

For citation: Prudnikov S. I. Patent portfolio management in aviation industry companies. *Proceedings in Cybernetics*. 2026;25(1):49–63. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-5>.

ВВЕДЕНИЕ

Авиационная промышленность является одной из наиболее технологически развитых и капиталоемких отраслей современной эконо-

мики, где конкурентные преимущества и долгосрочная устойчивость организаций в значительной степени определяются качеством управления результатами интеллектуальной

деятельности (РИД). В условиях глобальной геополитической конкуренции и санкционного давления эффективное формирование портфелей патентных прав превращается в инструмент стратегического развития предприятий авиационной промышленности, что способствует достижению целей и решению задач обеспечения национальной безопасности [1].

Высокая технологичность авиастроения, характеризующаяся длинными циклами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), сложностью разрабатываемой продукции (двигатели, авионика, композитные материалы, системы управления) и жесткими требованиями к безопасности, предъявляет особые требования к управлению интеллектуальной собственностью (ИС) [2]. Также портфель патентных прав в авиационной сфере становится основой для развития смежных отраслей, способствует созданию технологических альянсов, а также является важным активом при привлечении финансирования, в том числе в рамках государственных программ [3].

Кроме того, требования законодательства в области импортозамещения и обеспечения технологической независимости оборонно-промышленного комплекса добавляют портфельному управлению интеллектуальными правами дополнительный критерий – соответствие национальным приоритетам и программам развития.

Исследования вопросов коммерциализации РИД нашли широкое отражение в работах отечественных авторов [4–6]. На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что ключевой вектор исследований вопросов коммерциализации объектов ИС направлен на решение проблем экономического и правового характера. При этом традиционные подходы к управлению портфелями патентов и иных РИД, основанные на эвристических и экспертных оценках, становятся недостаточными в условиях экспоненциального роста объемов данных, увеличения сложности технологических взаимосвязей и необходимости учета множества противоречивых све-

дений, поступающих из разнородных источников в рамках коопераций исполнителей НИОКР [7]. Внедрение формальных математических методов оптимизации позволяет перейти от субъективных решений к обоснованным, воспроизводимым и адаптивным стратегиям управления патентными портфелями, обеспечивая повышение эффективности использования финансовых средств и усиление позиций государства в глобальной технологической конкуренции.

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных подходов к формированию и оптимизации портфелей патентных прав в организациях авиационной промышленности России. Эти подходы должны комплексно учитывать отраслевую специфику высокотехнологичного производства, динамику глобальной патентной среды и императивы национальной политики в сфере технологического развития.

В исследовании для упрощения понимания базовых технических процессов формирования и оптимизации портфелей патентных прав под РИД, ИС и объектами ИС будут пониматься патенты на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, которым предоставляется правовая охрана.

Объектом исследования являются процессы формирования и оптимизации портфелей патентных прав в организациях авиационной промышленности. Предмет исследования – алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав на основе методов генетического программирования (МГП) и роя частиц (МРЧ).

Целью исследования является повышение эффективности распоряжения правами на РИД в организациях авиационной промышленности за счет повышения качества формирования и оптимизации портфелей патентных прав с учетом заданных ограничений по доходности, риску, диверсификации и бюджету [8].

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Осуществить формальную постановку задачи;

2. Обосновать выбор метода оптимизации;
3. Разработать и обосновать алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав;
4. Рассмотреть и проанализировать примеры практического применения алгоритма формирования и оптимизации портфелей патентных прав для подтверждения его эффективности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Формализованная постановка задачи

Пусть цель оптимизации портфеля патентных прав заключается в повышении обоснованности выбора оптимального набора РИД (P) и формировании на их основе портфеля для предоставления права их использования из множества:

$$P = p_1, p_2, \dots, p_n, \quad (1)$$

где $n \in \mathbb{N}^+$ – множество РИД, правообладателем которых является организация (размер задачи).

При этом каждый РИД p_i описывается вектором атрибутов:

$$p_i = \langle c_p, r_p, t_p, \sigma_p, \rho_p, k_i \rangle, \quad (2)$$

где $c_i \in \mathbb{R}^+$ – годовая стоимость поддержания в силе (руб./год);

$r_i \in \mathbb{R}^+$ – ожидаемый годовой доход (руб./год);

t_i – остаточный срок действия (лет);

$\sigma_i \in [0, 1]$ – волатильность (стандартное отклонение) доходности;

$\rho_i \in [0, 1]$ – уровень правового риска, устанавливаемый на основании экспертных оценок;

$k_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ – индекс технологической области по заданному классификатору.

В рамках дальнейшего исследования высокое значение имеет матрица ковариаций доходности патентов:

$$\Sigma = [\sigma_{ij}]_{n \times n}, \quad i, j = 1, \dots, n, \\ \sigma_{ij} = \text{Cov}(r_i, r_j) = \mathbb{E}[(r_i - \mu_i)(r_j - \mu_j)], \quad (3)$$

где r_i, r_j – случайные величины доходностей i -го и j -го патентов;

$\mu_i = \mathbb{E}[r_i]$ – математическое ожидание доходности i -го патента;

$\mu_j = \mathbb{E}[r_j]$ – математическое ожидание доходности j -го патента;

$\mathbb{E}[\cdot]$ – оператор математического ожидания.

Представленная матрица применяется в алгоритме для расчета системного (ковариационного) риска портфеля $\sigma_p(x)$, коэффициента связанности патентов (κ), а также для оценивания эффекта диверсификации в стратегиях управления портфелями прав на РИД.

Для формирования целевой функции оптимизации $F(x)$ для решаемой задачи зададим формальное представление ее ключевых компонентов в соответствии с портфельной теорией Марковица [8]: доходность портфеля $V_D(x)$, уровень риска портфеля $V_R(x)$, диверсификация портфеля $V_{\text{Div}}(x)$, штрафные функции $P(x)$ за нарушение ограничений по каждому из компонентов.

С учетом вышеизложенного доходность портфеля $V_D(x)$ определяется в соответствии с формулой:

$$V_D(x) = \alpha \sum_{i=1}^n x_i (r_i - c_i) t_i, \quad (4)$$

где $\alpha \in [0, 1]$ – весовой коэффициент, определяющий важность доходности портфеля по сравнению с другими критериями при формировании портфеля прав.

Важным элементом для целевой функции является риск портфеля $V_R(x)$, который должен учитывать не только индивидуальные риски, присущие каждому РИД в портфеле (технологические, правовые, рыночные), но и системный риск, который обусловлен макроэкономическими факторами (отраслевыми, геополитическими, регуляторными), влияющими на весь портфель в целом [8]. В таком случае риск портфеля $V_R(x)$ определяется в соответствии с формулой:

$$V_R(x) = \beta \left[\omega_1 \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i t_i + \omega_2 \sqrt{x^T \Sigma x} \right], \quad (5)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор долей каждого РИД в портфеле;

$\beta \in [0, 1]$ – весовой коэффициент, определяющий важность учета рисков портфеля по

сравнению с другими критериями при формировании портфеля прав;

$\omega_1 \in [0,1]$ – весовой коэффициент, балансирующий вклад индивидуальных рисков РИД в общую оценку риска портфеля патентных прав;

$\omega_2 \in [0,1]$ – весовой коэффициент балансирующий вклад системного риска в общую оценку риска портфеля патентных прав при условии, что $\omega_1 + \omega_2 = 1$.

Таким образом, в целевой функции риск портфеля моделируется как взвешенная сумма двух компонентов. Первый компонент учитывает индивидуальные риски каждого РИД через сумму их волатильностей, скорректированных на срок действия, а второй компонент учитывает системный риск через квадратичную форму с матрицей ковариаций доходностей, что отражает взаимное влияние патентов в портфеле. Соотношение между этими компонентами регулируется весовыми коэффициентами, позволяя адаптировать модель к отраслевой специфике и степени корреляции технологий.

Для расчета уровня диверсификации портфеля $V_{Div}(x)$ применяется выражение:

$$V_{Div}(x) = \gamma \left(1 - \sum_{k=1}^K \left(\frac{n_k(x)}{|S(x)|} \right)^2 \right), \quad (6)$$

где $n_k(x)$ – количество патентов в технологической области k ;

$\gamma \in [0,1]$ – весовой коэффициент, определяющий важность диверсификации по сравнению с другими критериями при формировании портфеля прав;

$|S(x)|$ – установленный размер портфеля прав.

При этом ограничением при установлении того или иного весового коэффициента является: $\alpha + \beta + \gamma = 1$.

Функция штрафа за нарушение установленных ограничений включает следующие компоненты:

1. Штраф за нарушение установленного бюджета $P_1(x)$ определяется в соответствии с формулой:

$$P_1(x) = \lambda_1 \cdot \max \left(0, \sum_{i=1}^n x_i c_i t_i - B \right)^2 \quad (7)$$

при установленных ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n x_i c_i t_i \leq B, \quad (8)$$

где $\lambda_1 \in \mathbb{R}^+$ – коэффициент штрафа за превышение бюджета;

$B \in \mathbb{R}^+$ – бюджет на поддержание РИД в силе.

2. Штраф за нарушение установленного уровня риска $P_2(x)$ определяется в соответствии с формулой:

$$P_2(x) = \lambda_2 \cdot \max \left(0, \sum_{i=1}^n x_i \rho_i - R_{max} \right)^2 \quad (9)$$

при установленных ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n x_i \rho_i \leq R_{max}, \quad (10)$$

где $\lambda_2 \in \mathbb{R}^+$ – коэффициент штрафа за превышение уровня риска портфеля;

R_{max} – максимально допустимый уровень риска портфеля.

3. Штраф за превышение установленного размера портфеля прав $P_3(x)$ имеет вид:

$$P_3(x) = \lambda_3 \left[\max \left(0, |S(x)| - L_{max} \right)^2 + \max \left(0, L_{min} - |S(x)| \right)^2 \right] \quad (11)$$

при установленных ограничениях:

$$L_{min} \leq \sum_{i=1}^n x_i \leq L_{max}, \quad (12)$$

где $\lambda_3 \in \mathbb{R}^+$ – коэффициент штрафа за превышение установленного максимально допустимого размера портфеля;

$L_{min}, L_{max} \in \mathbb{N}^+$ – установленные границы размера портфеля в зависимости от задачи.

4. Штраф за нарушение установленного уровня диверсификации портфеля $P_4(x)$ определяется в соответствии с выражением:

$$P_4(x) = \lambda_4 \sum_{k=1}^K \max \left(0, \left(\frac{n_k(x)}{|S(x)|} \right) - D_{max} \right)^2 \quad (13)$$

при установленных ограничениях:

$$\frac{n_k(x)}{|S(x)|} \leq D_{\max} \forall k \in 1, \dots, K, \quad (14)$$

где $\lambda_4 \in \mathbb{R}^+$ – коэффициент штрафа за нарушение уровня диверсификации портфеля;

$D_{\max} \in \left[\frac{1}{K}, 1 \right]$ – максимальная доля РИД одной технологической области в портфеле.

В зависимости от условий обстановки, а также задач и функций, определяющих порядок управления правами на РИД, весовые коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \omega_1, \omega_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$, определяющие приоритеты лиц, принимающих решения (ЛПР), могут быть заданы на основе экспертных методов, ретроспективной информации или с использованием методов машинного обучения [9, 10].

В общем виде портфель S представляет собой подмножество патентов $S \subseteq P$, при этом бинарная переменная отбора РИД в портфель имеет вид:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \in S \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \forall i = 1, \dots, n. \quad (15)$$

Вектор бинарных переменных решения x можно представить как:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \{0, 1\}^n, \quad (16)$$

Таким образом портфель прав на РИД можно представить выражением:

$$S(x) = \{p_i \in P | x_i = 1\} \subseteq P. \quad (17)$$

С учетом этого целевая функция может быть представлена следующим образом:

$$F(x) = \left[-V_D(x) + V_R(x) - V_{\text{Div}}(x) + \sum_{m=1}^4 P_m(x) \right] \rightarrow \min_{x \in \{0, 1\}^n}. \quad (18)$$

Дальнейшая работа в рамках исследования сводится к выбору конкретного метода оптимизации портфелей патентных прав ($M \in \{\text{МГП, МРЧ}\}$) на основе установленных базовых критериев.

2. Обоснование выбора метода оптимизации

Ключевыми критериями [11] выбора метода оптимизации для решаемой задачи являются:

- уровень структурированность патентных данных S_{str} ;
- требуемая интерпретируемость результатов I ;
- оценка ресурсов для решения задачи S_{res} ;
- размер задачи S_{size} .

На основании этого представим функцию оценки применимости МГП как:

$$\Phi_{\text{МГП}} = w_1 \cdot S_{\text{str}} + w_2 \cdot I + w_3 \cdot S_{\text{res}} + w_4 \cdot S_{\text{size}}(n), \quad (19)$$

где значимости критериев выбора метода оптимизации определены на основе проведенного моделирования и имеют следующие значения:

- $w_1 = 0,35$ – структурированность патентных данных;
- $w_2 = 0,35$ – требуемая интерпретируемость;
- $w_3 = 0,20$ – ограничения по ресурсам;
- $w_4 = 0,10$ – размер задачи.

Осуществим формализацию критериев для расчета $\Phi_{\text{МГП}}$.

1. Уровень структурированности патентных данных рассчитывается в соответствии с выражением:

$$S_{\text{str}}(\kappa, \zeta) = 0,6 \cdot \min\left(1, \frac{\kappa}{0,25}\right) + 0,4 \cdot \zeta, \quad (20)$$

где $\zeta \in [0, 1]$ – степень структурированности данных на основании экспертных оценок;

κ – коэффициент связанности патентов, вычисляемый в соответствии с формулой:

$$\kappa = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\rho_{ij}|, \quad \rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}, \quad (21)$$

где n – число патентов в рассматриваемом множестве;

$\rho_{ij} \in [0, 1]$ – коэффициент корреляции доходности i -го и j -го патентов;

$|\rho_{ij}|$ – абсолютное значение корреляции.

Значение k можно интерпретировать следующим образом: при $k \approx 1$ все патенты в рассматриваемом множестве сильно коррелированы (в одной или смежных технологических областях) и имеют высокий уровень системного риска; при $k \approx 0,5$ патенты имеют среднюю корреляцию (умеренная связанность); при $k \approx 0$ патенты относятся к разным технологическим областям (высокая диверсификация).

2. Требуемая интерпретируемость результатов $I \in [0,1]$ установлена на основе экспертных оценок: 0,0–0,3 – не требуется, 0,4–0,6 – желательна, 0,7–1,0 – критически важна. При этом диапазон значений может быть уточнен в соответствии с требованиями лица, принимающего решения, а также с учетом особенностей принимаемых решений [12].

3. Оценка ресурсов для решения задачи S_{res} определяется как нормированная оценка соответствия вычислительных возможностей системы возможностям МГП:

$$S_{\text{res}} = w_t \cdot \min \left(1, \frac{t_{\text{max}}}{t_{\text{МГП}}(n)} \right) + w_R \cdot \min \left(1, \frac{R_{\text{дост}}}{R_{\text{МГП}}(n)} \right), \quad (22)$$

где t_{max} – допустимое время выполнения задачи;

$R_{\text{дост}}$ – доступные вычислительные ресурсы (память, CPU);

$R_{\text{МГП}}$ – требуемые ресурсы для МГП;

w_t, w_R – веса временного и ресурсного факторов при $w_t + w_R = 1$;

$t_{\text{МГП}}(n)$ – оценка времени выполнения генетического программирования для n патентов, вычисляемая на основании:

$$t_{\text{ГП}} \approx k_{\text{ГП}} \cdot n^2 \cdot T_{\text{max}} \cdot N_{\text{pop}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{МГП}}$ – константа системы;

n – число патентов в выборке;

T_{max} – число поколений в МГП (обычно 100–200);

N_{pop} – размер популяции деревьев (обычно 100–1000).

4. Для критерия «размер задачи» S_{size} на основе моделирования и анализа задач, решаемых на основе МГП [13], экспертным путем установлены следующие значения:

мных на основе МГП [13], экспертным путем установлены следующие значения:

$$S_{\text{size}}(n) = \begin{cases} 1,0 & n \leq 100 \\ 0,8 & 100 < n \leq 150 \\ 0,6 & 150 < n \leq 200 \\ 0,4 & 200 < n \leq 250 \\ 0,2 & 250 < n \leq 300 \\ 0 & n > 300 \end{cases}. \quad (24)$$

Таким образом, с учетом критериев структурированности, интерпретируемости, оценки ресурсов и размера задачи установлен порог выбора метода оптимизации из {МГП, МРЧ}: МГП – при $\Phi_{\text{МГП}} \geq 0,65$. В ином случае при $\Phi_{\text{МГП}} < 0,65$ в качестве метода оптимизации целесообразно использовать МРЧ. Правило выбора метода оптимизации имеет вид:

$$M = \begin{cases} \text{МГП}, & \Phi_{\text{МГП}} \geq 0,65 \\ \text{МРЧ}, & \Phi_{\text{МГП}} < 0,65 \end{cases}. \quad (25)$$

Такая ситуация типична для оперативных задач с большими портфелями, где важна высокая скорость решения, но интерпретируемость полученных результатов не требуется. Конкретно это случаи, когда оцениваемые критерии – такие, как низкая структурированность данных, нехватка времени или вычислительных ресурсов – приводят к падению общей оценки $\Phi_{\text{МГП}}$ ниже установленного порога.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3. Алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав

На основе заданной целевой функции $F(x)$, учитывающей доходность портфеля $V_D(x)$, уровень риска портфеля $V_R(x)$, диверсификацию портфеля $V_{\text{Div}}(x)$ и штрафные функции $P(x)$ за нарушение ограничений по каждому из элементов целевой функции, а также проведенного обоснования порядка выбора метода оптимизации рассмотрим алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав, включающий следующие этапы.

На первом этапе осуществляется подготовка данных, а именно:

1. Определяется множество РИД для обработки;

2. Для каждого РИД задаются атрибуты в соответствии с выражением (2);

3. Строится матрица ковариаций доходностей (формула (3)), рассчитываются коэффициенты корреляции ρ_{ij} и вычисляются коэффициенты связанности патентов к по формуле (21);

4. Определяются параметры, задаваемые на основе экспертных оценок: ξ – степень структурированности данных, I – требуемая интерпретируемость, t_{max} – допустимое время выполнения задачи, $R_{дост}$ – доступные вычислительные ресурсы.

На *втором этапе* производится выбор метода оптимизации. В рамках этого рассчитывается интегральная оценка применимости МГП:

$$\Phi_{МГП} = 0,35 \cdot S_{str} + 0,35 \cdot I + 0,20 \cdot S_{res} + 0,10 \cdot S_{size}(n). \quad (26)$$

При этом выбор метода осуществляется на основании правила (формула (25)).

На *третьем этапе* производится расчет целевой функции:

$$F(x) = V_D(x) - V_R(x) + V_{Div}(x) - \sum_{m=1}^4 P_m(x), \quad (27)$$

включающей следующие компоненты:

– доходность портфеля $V_D(x)$, вычисляемая по формуле (4);

– риск портфеля $V_R(x)$, вычисляемый по формуле (5);

– диверсификацию портфеля $V_{Div}(x)$, рассчитываемую в соответствии с формулой (6);

– штрафные функции: за превышение бюджета $P_1(x)$ (формула (7)), за превышение уровня риска $P_2(x)$ (формула (9)), за нарушение установленного размера портфеля $P_3(x)$ (формула (11)), за нарушение диверсификации $P_4(x)$ (формула (13)).

Для расчета компонентов целевой функции установлены следующие ограничения по бюджету (формула (8)), риску (формула (10)), размеру портфеля (формула (10)), уровню диверсификации (формула (12)).

На *четвертом этапе* производится оптимизация портфеля патентных прав на основе метода M , определяемого в соответствии с формулой (25).

При оптимизации на основе МГП осуществляется [14]:

1. Инициализация популяции, при которой создаются случайные синтаксические деревья (правила отбора РИД), где каждое дерево – это логическое выражение, по которому отбираются патенты (например, если $t_i > 10$ и $\sigma_i < 0,3$).

2. Оценка деревьев, при которой каждое из деревьев применяется к множеству РИД для получения бинарного вектора x , а также рассчитывается приспособленность дерева $F(x)$.

3. Селекция и генетические операторы:

– отбор лучших деревьев (турнирный, пропорциональный);

– кроссинговер (обмен поддеревьями);

– мутация (изменение узлов дерева).

4. Повторение, при котором шаги 2–3 выполняются T_{max} поколений (обычно 100–200). При этом сохраняются лучшее решение (дерево) и соответствующий вектор x^* .

5. Интерпретация результата, в рамках которой лучшее дерево преобразуется в правило, например «Выбирать патенты с $t_i > 8$ и $r_i > 100\,000$ ».

Таким образом при оптимизации на основе МГП сформированный портфель прав на РИД будет иметь вид:

$$S = \{p_i | x_i^* = 1\}. \quad (28)$$

При оптимизации на основе МРЧ осуществляется [15, 16]:

1. Инициализация роя, в ходе которой создаются M частиц, каждая из которых представляет случайный бинарный вектор $x \in \{0,1\}^n$ и задаются скорости частиц $v \in \mathbb{R}^n$.

2. Оценка частиц путем вычисления $F(x)$ для каждой из них. При этом производится сохранение (запоминание) лучшего положения частицы p_{best} и глобального лучшего положения g_{best} .

3. Обновление скоростей и позиций в соответствии с выражениями:

$$v_{id}^{t+1} = wv_{id}^t + c_1r_1(p_{best,id} - x_{id}^t) + c_2r_2(g_{best,id} - x_{id}^t), \quad (29)$$

$$x_{id}^{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{sigmoid}(v_{id}^{t+1}) > \text{rand}() \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (30)$$

где w , c_1 , c_2 – параметры;

$r_1, r_2 \sim U(0,1)$.

4. Выполнение шагов 2–3 для заданного числа итераций и сохранение g_{best} как итогового вектора x^* .

5. Формирование портфеля прав на РИД (формула (28)).

На пятом этапе осуществляется верификация и проводится постобработка данных. При этом проверяется выполнение ограничений по бюджету, риску, размеру портфеля и уровню диверсификации. При выявлении нарушений корректируются веса штрафов λ_m после чего повторяется четвертый этап (оптимизация).

Для пограничных значений функции оценки применимости МГП ($\Phi_{МГП} \approx 0,65$) оптимизация может производиться на основе двух методов (МГП и МРЧ) с выбором лучшего по $F(x)$ решения.

С учетом особенностей применяемых методов требуется проверка адекватности сгенерированного правила (для МГП) и ручной анализ состава сформированного портфеля (для МРЧ) [16].

На шестом этапе осуществляется формирование итогового отчета. Результирующий портфель прав на РИД может быть представлен выражением $S^* = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}\}$, $m = |S^*|$. При этом доходность будет иметь вид $V_D(x^*)$, риск – $V_R(x^*)$, диверсификация – $V_{Div}(x^*)$, общая оценка – $F(x^*)$.

В рамках формирования рекомендаций для ЛПР при использовании МГП представляется правило отбора и его обоснование, а при МРЧ представляется список выбранных патентов и ключевые метрики.

При удовлетворении решений поставленным целям и задачам заданные весовые коэффициенты α , β , γ , ω_1 , ω_2 , λ_1 , ..., λ_4 сохраняются для использования в типовых задачах.

Блок-схема алгоритма формирования и оптимизации портфелей патентных прав представлена на рис. 1.

Представленный алгоритм практически реализован в специализированном программном обеспечении [17], разработанном на языке программирования python и позволяющем осуществлять поддержку принятия решений при управлении правами на РИД.

4. Примеры практического применения алгоритма формирования и оптимизации портфелей патентных прав

Пример 1. Формирование портфеля прав на РИД в области авиационной техники с помощью МГП.

Для первого примера отобраны 8 патентов на изобретения и полезные модели. На основе авторского программного обеспечения [17], позволяющего распознавать именованные сущности (NER) с применением модели машинного обучения, присвоены атрибуты для рассматриваемых объектов ИС, где ИЗО – изобретения, ПМ – полезные модели (табл. 1).

На основе результатов экспертного оценивания составлена матрица корреляций доходностей РИД (табл. 1).

Путем обработки исходных данных и результатов экспертного оценивания получены следующие параметры для решаемой задачи, требующиеся для расчета функции применимости $\Phi_{МГП}$:

$n = 8 (< 300)$;

$k = 0,52$ (средняя корреляция – высокая взаимосвязь авиационных технологий в выборке);

$\zeta = 0,7$ (данные структурированы по подотраслям);

$I = 0,9$ (требуется интерпретация для ЛПР);

$t_{max} = 3$ часа, $R_{дост} = 1,0$.

Таким образом:

$S_{str} = 0,6 \cdot \min(1, 0,52/0,25) + 0,4 \cdot 0,7 = 0,6 \cdot 1,0 + 0,28 = 0,88$;

$S_{res} = 1,0$ (ресурсов достаточно);

$S_{size} = 1,0$;

$\Phi_{МГП} = 0,35 \cdot 0,88 + 0,35 \cdot 0,9 + 0,20 \cdot 1,0 + 0,10 \cdot 1,0 = 0,308 + 0,315 + 0,20 + 0,10 = 0,923$.

Следовательно, с учетом базовых весовых коэффициентов: $\Phi_{МГП} = 0,923 > 0,65$, что предопределяет выбор МГП.

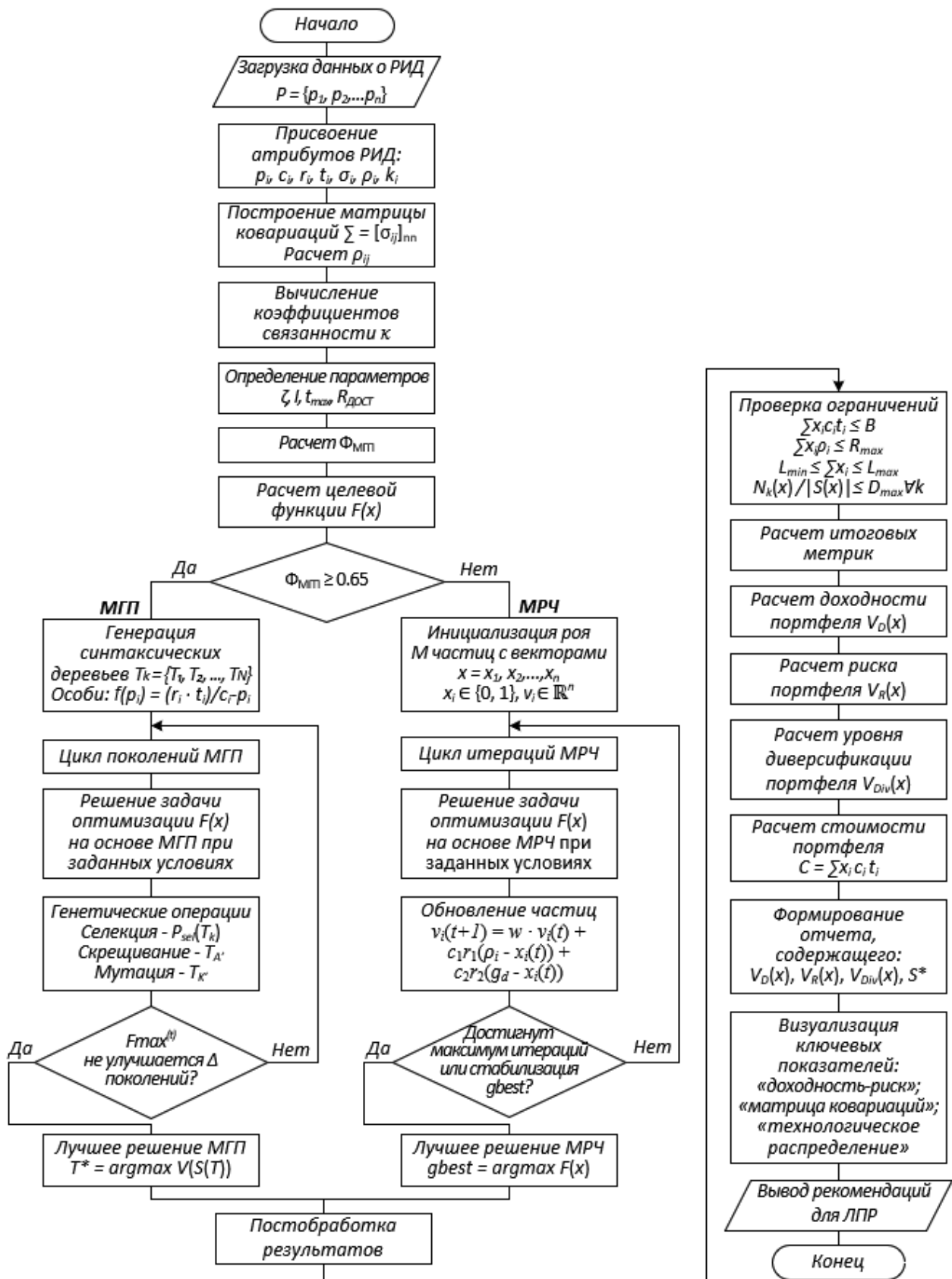


Рис. 1. Блок-схема алгоритма формирования и оптимизации портфелей патентных прав

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

Таблица 1

Атрибуты патентов

Название патента	Тип	Год действия	c_i (руб./год)	r_i (тыс. руб./год)	t_i (остаток лет)	σ_i (волатильность)	ρ_i (правовой риск)	k_i (подотрасль)
Композитные материалы для крыла	ИЗО	11	8 000	850	9	0,25	0,3	1 (Материалы)
Цифровой двойник силовой установки	ИЗО	9	3 000	1 200	11	0,30	0,2	2 (Цифровизация)
Система БПЛА для мониторинга ВПП	ПМ	7	4 000	400	3	0,35	0,4	3 (БПЛА)
Шумопоглощающие панели	ПМ	6	4 000	300	4	0,20	0,1	1 (Материалы)
Интеллектуальная система технического обслуживания	ИЗО	13	11 000	900	7	0,40	0,3	2 (Цифровизация)
Система противообледенения	ИЗО	9	3 000	500	11	0,28	0,2	4 (Системы безопасности)
Способ повышения топливной эффективности	ИЗО	11	8 000	–	9	0,32	0,3	5 (Двигатели)
Система навигации в сложных условиях	ИЗО	14	14 000	800	6	0,38	0,4	6 (Авионика)

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

Таблица 2

Матрица корреляций доходностей

№	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,0	0,7	0,3	0,8	0,5	0,2	0,6	0,4
2	0,7	1,0	0,4	0,6	0,8	0,3	0,5	0,6
3	0,3	0,4	1,0	0,2	0,4	0,5	0,3	0,8
4	0,8	0,6	0,2	1,0	0,4	0,1	0,5	0,3
5	0,5	0,8	0,4	0,4	1,0	0,3	0,7	0,5
6	0,2	0,3	0,5	0,1	0,3	1,0	0,2	0,4
7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,7	0,2	1,0	0,6
8	0,4	0,6	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	1,0

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

При заданных условиях параметрами целевой функции будут являться:

$$\alpha = 0,4, \beta = 0,3, \gamma = 0,3;$$

$\omega_1 = 0,3, \omega_2 = 0,7$ (акцент на системный риск, что связано с $\kappa = 0,52$);

$B = 80\,000$ руб. (выделенный бюджет на поддержание патентов в силе на ближайший год);

$$R_{max} = 2,0 \text{ (суммарный правовой риск } \leq 2,0);$$

$L_{min} = 3, L_{max} = 6$ (установленный размер портфеля 3 – 6 патентов);

$D_{max} = 0,5$ (не более 50 % патентов в одной подотрасли).

С применением МГП сгенерирована популяция деревьев, например:

1. IF (Тип = «Изобретение» AND $t_i \geq 8$) THEN «select»;

2. IF $((r_i - c_i) > 700\,000)$ THEN «select» (чистая годовая доходность > 700 тыс. руб.);

3. IF $(k_i \in \{1, 2, 5\} \text{ AND } \sigma_i < 0,35)$ THEN «select».

На основе эволюции (100 поколений) получены следующие результаты:

Поколение 1: Лучшее дерево – IF $(r_i > 700)$ THEN «select» при $F(x) = 3\,100\,000$;

Поколение 50: IF (Тип = «Изобретение» AND $(r_i - c_i) > 700\,000$ AND $\sigma_i < 0,35$) THEN «select»;

Поколение 100 (финальное): IF (Тип = «Изобретение» AND $(r_i - c_i) > 700\,000$ AND

$\sigma_i < 0,35$ AND $\rho_i < 0,35$) THEN «select» при $F(x) = 2\,850\,000$.

Применим полученные правила к РИД и проверим каждый патент (табл. 3).

Таблица 3

Результаты проверки в соответствии с правилами

№	Условия				Решение
	Тип = ИЗО	$r_i - c_i > 700\,000$	$\sigma_i < 0,35$	$\rho_i < 0,35$	
1	+	842 000	0,25	0,30	Отобразить
2	+	1 197 000	0,30	0,20	Отобразить
3	–	396 000	0,35	0,40	Отклонить
4	–	296 000	0,20	0,10	Отклонить
5	+	889 000	0,40	0,30	Отклонить
6	+	497 000	0,28	0,20	Отклонить
7	+	692 000	0,32	0,30	Отклонить
8	+	786 000	0,38	0,40	Отклонить

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

Таким образом, вектор решения будет иметь вид: $x = [1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$.

На основании этого можно резюмировать, что в соответствии с установленными исходными данными и заданными ограничениями в портфель прав отобраны 2 патента с показателями:

– общие затраты на поддержание в силе (на ближайший год) составят 11 000 руб. при установленном бюджете 80 000 руб.;

– годовая доходность от предоставления права использования составит 2 050 000 руб., при этом чистая годовая доходность равна 2 039 000 руб.;

– риск портфеля = 0,22 (низкий);

– технологическая диверсификация: 2 разные подотрасли (материалы, цифровизация);

– суммарный правовой риск равен 0,5, что в пределах установленного $R_{max} = 2,0$.

Интерпретируемое правило для ЛПР будет иметь вид: «Для формирования стратегического портфеля авиационных патентов отбирать только изобретения с чистой годовой доходностью > 700 тыс. руб., волатильностью доходности $< 35\%$ и правовым риском $< 35\%$ ».

Бюджетную эффективность можно представить в виде показателя ROI (отношение дохода к затратам): $2\,050\,000 / 11\,000 \approx 186:1$.

Вместе с тем итоговое решение не соответствует ограничению $L_{min} = 3$, $L_{max} = 6$. Для

устранения сложившейся ситуации требуется пересмотреть ограничения или добавить в портфель третий патент по дополнительному критерию (например, максимальный срок действия).

Пример 2. Оптимизация большого портфеля РИД в области авиационной техники с помощью МРЧ.

Пусть имеется множество РИД ($n = 300$), сгруппированных по 8 подотраслям авиационной техники на основании классификатора, сформированного экспертным путем, из них:

1. Силовые установки – 40 патентов.
2. Материалы – 35 патентов.
3. Авионика – 40 патентов.
4. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – 50 патентов.
5. Системы безопасности – 30 патентов.
6. Цифровизация – 60 патентов.
7. Инфраструктура – 20 патентов.
8. Сертификация – 20 патентов.

По типам патенты распределены следующим образом: изобретения (ИЗО) – 70 %, полезные модели (ПМ) – 30 %.

По аналогии с примером 1 путем обработки исходных данных и результатов экспертного оценивания получены следующие параметры для решаемой задачи, требующиеся для расчета функции применимости $\Phi_{МП}$:

- доходность $r_i = 50\text{--}2\,000$ тыс. руб./год (нормальное распределение);
- срок действия $t_i = 3\text{--}12$ лет (равномерное распределение);
- волатильность $\sigma_i = 0,15\text{--}0,45$;
- правовой риск $\rho_i = 0,1\text{--}0,5$;
- коэффициент связанности $k = 0,22$ свидетельствует о низкой корреляции и высокой диверсифицированности портфеля;
- структурированность данных $\xi = 0,4$ (средняя, данные структурированы по подотраслям);
- интерпретируемость $I = 0,2$ (интерпретация для ЛПР не требуется);
- время $t_{\max} = 1$ час;
- вычислительные ресурсы $R_{\text{дост}} = 1,0$.

Для определения применимости МГП произведен расчет $\Phi_{\text{МГП}}$. В этих целях рассчитаем компоненты $\Phi_{\text{МГП}}$: S_{str} , S_{res} и S_{size} .

$$- S_{\text{str}} = 0,6 \cdot \min(1, 0,22 / 0,25) + 0,4 \cdot 0,4 = 0,6 \cdot 0,88 + 0,16 = 0,528 + 0,16 = 0,688;$$

– $S_{\text{res}} = 0,9$ (время ограничено, но ресурсов достаточно);

$$- S_{\text{size}} = 0,2 \text{ при } n = 300 \in (200, 300];$$

$$- \Phi_{\text{МГП}} = 0,35 \cdot 0,688 + 0,35 \cdot 0,2 + 0,20 \cdot 0,9 + 0,10 \cdot 0,2 = 0,2408 + 0,07 + 0,18 + 0,02 = 0,5108.$$

Следовательно, с учетом базовых весовых коэффициентов: $\Phi_{\text{МГП}} = 0,5108 > 0,65$, что предопределяет выбор МРЧ.

Для применения МРЧ в целях оптимизации портфеля патентов зададим параметры:

- размер роя $M = 30$ частиц;
- цикл итераций = 80;
- параметры для обновления частиц: $w = 0,7$, $c_1 = 1,5$, $c_2 = 1,5$;
- $B = 2\,000\,000$ руб. (выделенный бюджет на поддержание патентов в силе на ближайший год);
- $R_{\max} = 60,0$ (суммарный правовой риск);
- $L_{\min} = 40$, $L_{\max} = 80$ (установленный размер портфеля 40 – 80 патентов);
- $D_{\max} = 0,3$ (не более 30 % патентов в одной подотрасли);
- веса компонентов целевой функции: $\alpha = 0,35$, $\beta = 0,35$, $\gamma = 0,3$; $\omega_1 = 0,4$, $\omega_2 = 0,6$.

При моделировании на основе МРЧ получены следующие результаты:

- после 1 итерации (случайная инициализация) получены 30 случайных бинарных векторов, при этом лучшая $F(x) = 1\,250\,000$;

- после 30 итерации обеспечена сходимость частиц к областям с высокой доходностью и низкой стоимостью при $F(x) = 3\,800\,000$. При этом выбраны 60 патентов;

– по итогам 80 итерации (финальной) сформирован глобальный лучший вектор x^* с $F(x) = 4\,850\,000$. Произведен отбор 62 патентов в соответствии с заданными условиями и ограничениями.

Статистика по отобранным для формирования портфеля патентам имеет вид:

- типа патентов: ИЗО – 45 (73 %), ПМ – 17 (27 %);

- размер портфеля: $62 \in [40, 80]$;

- затраты на поддержание: 1 850 000 руб. в год (в пределах ограничения B);

- годовая доходность: 42 500 000 руб. в год;

- чистая доходность: 40 650 000 руб. в год;

- риск портфеля: 0,28 (низкий);

- суммарный правовой риск: 18,6 (в пределах $R_{\max} = 60$).

Бюджетную эффективность можно представить в виде показателя ROI (отношение дохода к затратам): $42\,500\,000 / 1\,850\,000 \approx 23:1$.

Таким образом, можно сделать вывод, что МРЧ эффективен для средних портфелей (около 300 патентов). При этом оптимизация позволила сократить портфель на 30 патентов при росте доходности на 11,8 %. Основной прирост доходности обеспечен за счет исключения низкорентабельных патентов, улучшения диверсификации и снижения совокупного риска. При этом время выполнения всех операций составила 25 минут при базовых вычислительных ресурсах.

Научная новизна разработанного алгоритма заключается в синтезе адаптивного механизма выбора между генетическим программированием (МГП) и методом роя частиц (МРЧ) для оптимизации портфелей патентных прав на основе формальных критериев структурированности данных (κ , ζ), требуемой интерпретируемости (I), ресурсных ограничений (S_{res}) и размера задачи (S_{size}). Впервые предложена интегральная оценка применимости метода ($\Phi_{\text{МГП}}$), которая позволяет автоматически и обоснованно переключаться между МГП, генерирующим интерпретируемые правила, и МРЧ, ориентированным на эффек-

тивный комбинаторный поиск. Это преодолевает ключевой недостаток существующих подходов, где выбор метода является эмпирическим, и позволяет адаптировать алгоритм к специфике задачи в области управления ИС, где сочетаются требования к объяснимости решений для стратегического планирования и к вычислительной эффективности для оперативного управления [18].

Практическая применимость алгоритма подтверждена моделированием на реальных данных. Алгоритм позволяет организациям и органам государственной власти автоматизировать процесс формирования портфелей прав на РИД для эффективных распоряжений ими [19]. Для решения задач, требующих предоставления ЛПР интерпретируемых правил отбора для повышения прозрачности и обоснованности решений, в алгоритме используется МГП. Для оперативных задач с большими объемами данных ($n > 300$, $I \leq 0,3$) алгоритм выбирает высокопроизводительный МРЧ, обеспечивая быструю оптимизацию в рамках ограничений по времени и ресурсам. Внедрение алгоритма в практику управления интеллектуальной собственностью способно позволить повысить доходность портфелей на 5–15% (по результатам моделирования) за счет адекватного выбора метода оптимизации, рационального использования бюджета на поддержание патентов в силе и снижения рисков за счет корректного учета требуемого уровня диверсификации через матрицу ковариаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен алгоритм формирования и оптимизации портфелей патентных прав на основе методов генетического программирования и роя частиц, позволяющий формировать портфели прав на результаты интеллектуальной деятельности и проводить их оптимизацию с учетом заданных ограничений по доходности, риску, диверсификации и бюджету. Таким образом, цель исследования достигнута, поставленные задачи выполнены.

Проведенное исследование вносит вклад в совершенствование порядка управления правами на РИД в аспекте интеллектуального анализа данных и финансовой оптимизации.

В разработанном алгоритме предложен подход к ситуативному выбору наиболее адекватного метода до начала оптимизации, что снижает вычислительные затраты и повышает целевую эффективность. Также алгоритм адаптирует классическую финансовую модель Марковица к специфике нематериальных активов. Таким образом, работа восполняет пробел в методологии оптимизации портфелей патентных прав, предлагая систематизированный, автоматизированный и эмпирически обоснованный инструмент принятия решений в органах государственной власти и организациях авиационной промышленности.

Проведенный анализ предметной области в ходе исследования позволил выделить перспективные направления дальнейших исследований. К ним можно отнести:

1. Расширение набора критериев для выбора метода оптимизации: включение динамических факторов, таких как изменчивость технологических трендов или геополитические риски, которые особенно актуальны для РИД двойного назначения.

2. Разработку итеративных и гибридных алгоритмов двухэтапной оптимизации, когда после быстрого поиска с помощью МРЧ в суженном пространстве решений применяется МГП для генерации локальных интерпретируемых правил.

3. Интеграцию с методами машинного обучения для использования исторических данных о результатах оптимизации в целях обучения классификатора, предсказывающего оптимальный метод или непосредственно параметры метода, такие как глубину деревьев в МГП или размер роя в МРЧ.

4. Валидацию на разнородных данных, а именно – тестирование алгоритма на портфелях из других высокотехнологичных отраслей (информационные технологии, фармацевтика, энергетика) для проверки его обобщающей способности и калибровки пороговых значений.

Предложенный алгоритм направлен на развитие систем информационной поддержки принятия решений для стратегического планирования в государственных и корпоративных структурах.

Список источников

1. Якунин А. В. К исследованию базовых показателей развития инновационной активности предприятий авиационной промышленности РФ // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2020. Т. 11, № 4. С. 76–82. <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-4-76-82>.
2. Краев В. М., Силуянова М. В., Тихонов А. И. Подходы к разработке моделей жизненного цикла отечественной авиационной техники // Московский экономический журнал. 2019. № 1. С. 536–546. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-11052>.
3. Виноградов А. М., Бочкова Е. А. Кредит под залог интеллектуальной собственности как фактор развития бизнеса // Финансовые рынки и банки. 2022. № 1. С. 55–60.
4. Аношин М. И., Самсонова А. И. Модели коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности, созданных ОПК // Экономика космоса. 2023. Т. 2, № 1 (3). С. 38–49. https://doi.org/10.48612/ogat/space_economics/2023.02.03.05.
5. Титов А. К. Стратегическое планирование коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности в сфере исследований и разработок // Стратегии бизнеса. 2022. Т. 10, № 1. С. 4–7. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-1-4-7>.
6. Сальникова К. В. Исследование особенностей коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности // Социальные и экономические системы. 2022. № 6. С. 268–287.
7. Прудников С. И. Обработка больших данных в системах поддержки принятия решений специального назначения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 48–52.
8. Федоров Г. В. Применение теории Марковица к криптовалютному портфелю // Белгородский экономический вестник. 2023. № 2 (110). С. 91–94.
9. Прудников С. И. Оценивание качества автоматизированного обнаружения вредоносной информации // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 3. С. 60–65.
10. Богомолов А. В., Климов Р. С. Автоматизация обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71, № 11. С. 509–512.
11. Тобин Д. С., Богомолов А. В., Голосовский М. С. Организация испытаний программного обеспечения для различных моделей его жизненного цикла // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 7, С. 132–135.
12. Прудников С. И., Богомолов А. В., Теребов Д. С. Направления совершенствования поддержки принятия решений в органах военного управления // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 6. С. 16–19.
13. Чесноков С. Е. Эволюционные стратегии в машинном обучении // Труды Поволжского государственного

References

1. Yakunin A. V. To the study of basic indicators of the development of innovative activity of enterprises of the aviation industry of the Russian Federation. *Vestnik of Samara University. Economics and Management*. 2020;11(4):76–82. <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-4-76-82>. (In Russ.).
2. Krayev V. M., Siluyanov M. V., Tikhonov A. I. Approaches to development of models of life cycle of domestic aircraft equipment. *Moscow economic journal*. 2019;(1):536–546. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-11052>. (In Russ.).
3. Vinogradov A. M., Bochkova E. A. Loan secured by intellectual property as business development factor. *Finansovye rynki i banki*. 2022;(1):55–60. (In Russ.).
4. Anoshin M. I., Samsonova A. I. Commercialization models of intellectual property, generated by military-industrial complex. *Space Economics*. 2023;2(1):38–49. https://doi.org/10.48612/ogat/space_economics/2023.02.03.05. (In Russ.).
5. Titov A. K. Strategic planning of commercialization of the results of intellectual activity in the field of research and development. *Business Strategies*. 2022;10(1):4–7. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-1-4-7>. (In Russ.).
6. Salnikova K. V. Examining the specifics of the commercialization of intellectual property assets. *Sotsialnye i ekonomicheskie sistemy*. 2022;(6):268–287. (In Russ.).
7. Prudnikov S. I. Big data processing in systems decision support special appointments. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2023;(5):48–52. (In Russ.).
8. Fedorov G. V. Primenenie teorii Markovitsa k kriptovalyutnomu portfelyu. *Belgorodskiy ekonomicheskiy vestnik*. 2023;(2):91–94. (In Russ.).
9. Prudnikov S. I. Assessing the quality of automated malicious information detection. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(3):60–65. (In Russ.).
10. Bogomolov A. V., Klimov R. S. Automation of information processing during collective network expert examinations. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii*. 2017;71(11):509–512. (In Russ.).
11. Tobin D. S., Bogomolov A. V., Golosovskiy M. S. Organization of testing the software for different models of its life cycle. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike*. 2021;(7):132–135. (In Russ.).
12. Prudnikov S. I., Bogomolov A. V., Terebov D. S. Directions for improving decision support in military administration bodies. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike*. 2022;(6):16–19. (In Russ.).
13. Chesnokov S. E. Evolutionary strategies in machine learning. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Tekhnologicheskaya*. 2024;(12):42–51. (In Russ.).
14. Zhang L., Filimonov N. B. Identification of dynamic systems based on a combination of methods genetic programming and sparse regression. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2024;(44):37–

- ного технологического университета. Серия: Технологическая. 2024. № 12. С. 42–51.
14. Чжан Л., Филимонов Н. Б. Идентификация динамических систем на основе комбинации методов генетического программирования и разреженной регрессии // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2024. № 44. С. 37–45. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-37-45>.
 15. Бушуев А. Ю., Маремшаова А. А. Сравнение модифицированного метода Ψ-преобразования и канонического метода роя частиц // *Математическое моделирование и численные методы*. 2018. № 3. С. 22–37. <https://doi.org/10.18698/2309-3684-2018-3-2135>.
 16. Alekseytsev A. V., Al Ali M. Optimization of hybrid I-beams using modified particle swarm method // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 7. P. 175–185. <https://doi.org/10.18720/MCE.83.16>.
 17. Прудников С. И. Программа управления интеллектуальной собственностью : свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2025663948 Рос. Федерация ; заявл. 19.05.2025; опубл. 02.06.2025.
 18. Прохоров М. А., Прудников С. И., Асеев А. О. и др. Методология оценивания качества функционирования специализированных систем информационного обеспечения научных исследований // *Автоматизация. Современные технологии*. 2024. Т. 78, № 7. С. 332–336.
 19. Прудников С. И., Котляр А. В. Метод формирования ведомственных сетевых экспертных сообществ // *Математические методы в технологиях и технике*. 2023. № 3. С. 104–107. https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2023_3_104.
 45. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-37-45>. (In Russ.).
 15. Bushuev A. Yu., Maremsaova A. A. Ψ-transformation optimization method in comparison with canonical particle swarm optimization method. *Mathematical Modeling and Computational Methods*. 2018;(3):22–37. <https://doi.org/10.18698/2309-3684-2018-3-2135>. (In Russ.).
 16. Alekseytsev A. V., Al Ali M. Optimization of hybrid I-beams using modified particle swarm method. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;(7):175–185. <https://doi.org/10.18720/MCE.83.16>.
 17. Prudnikov S. I. Intellectual property management program. RU State registration certificate of computer program No. 2025663948, filed May 19, 2025, issued June 2, 2025. (In Russ.).
 18. Prokhorov M. A., Prudnikov S. I., Aseev A. O. et al. Metodologiya otsenivaniya kachestva funktsionirovaniya spetsializirovannykh sistem informatsionnogo obespecheniya nauchnykh issledovaniy. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii*. 2024;78(7):332–336. (In Russ.).
 19. Prudnikov S. I., Kotlyar A. V. Method of forming departmental network expert communities. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike*. 2023;(3):104–107. https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2023_3_104. (In Russ.).

Информация об авторе

С. И. Прудников – кандидат технических наук;
<https://orcid.org/0000-0002-5136-8521>,
 prudnikovscience@gmail.com

About the author

S. I. Prudnikov – Candidate of Sciences (Engineering);
<https://orcid.org/0000-0002-5136-8521>,
 prudnikovscience@gmail.com