

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/07INOR323.pdf>

DOI: 10.15862/07INOR323 (<https://doi.org/10.15862/07INOR323>)

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Мохмдхуссин, А. Н. М. Решение задачи выбора природоохранных мероприятий на базе нейросетевого моделирования сбалансированной системы показателей деятельности предприятия в сфере природопользования / А. Н. М. Мохмдхуссин // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/07INOR323.pdf> DOI: 10.15862/07INOR323

**For citation:**

Mohmedhussen A.N.M. Solving the problem of choosing environmental measures based on neural network modeling of a balanced system of indicators of an enterprise's activities in the field of environmental management. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(3): 07INOR323. Available at: <https://resources.today/PDF/07INOR323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/07INOR323

УДК 004.942

**Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин**

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», Москва, Россия

Аспирантка

E-mail: [ciop@misis.ru](mailto:ciop@misis.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8688-9029>

## **Решение задачи выбора природоохранных мероприятий на базе нейросетевого моделирования сбалансированной системы показателей деятельности предприятия в сфере природопользования**

**Аннотация.** В рамках проведенного исследования произведена оценка степени достижения предприятием целевых показателей в сфере природопользования. Результаты оценки достижения плановых и прогнозных значений становятся основой для определения проблемных участков и внесения изменений в стратегию развития, тем самым позволяя повысить конечную действенность экологических мероприятий и программ. Целью работы является повышение эффективности деятельности предприятия в сфере охраны окружающей среды и природопользования на основе выбора оптимальных направлений экологических мероприятий и программ. Идея работы заключается в использовании нейросетевых прогнозов сбалансированной системы показателей деятельности предприятия в сфере природопользования. Предметом исследования являлись прогнозные показатели природопользования в рамках комплексной системы анализа эффективности деятельности предприятия.

В ходе проведенных исследований выделены ключевые принципы и требования, составляющие концептуальную основу совершенствования системы показателей деятельности предприятиях в сфере охраны окружающей среды и природопользования, проведен анализ необходимости введения новых показателей и корректировки существующих прогнозных показателей. Произведено нейросетевое моделирование сформированной сбалансированной системы показателей деятельности предприятия в сфере природопользования, осуществлен сравнительный анализ алгоритмов обучения и расчет погрешностей прогнозирования для

различных вариантов нейронных сетей. Решена задачи выбора природоохранных мероприятий и обоснована значимость основных экологических направлений развития на основе экспертно-моделирующих процедур. Основные результаты работы направлены на получение реальной оценки эффективности деятельности предприятия в сфере охраны окружающей среды, а также на качественное планирование и расходование средств, выделяемых на реализацию экологических мероприятий и программ.

**Ключевые слова:** нейросетевое моделирование; сбалансированная система показателей; охрана окружающей среды; природопользование; задача выбора; ошибка прогнозирования; методы обучения нейронной сети

## Введение

Актуальность проведенного исследования состоит в том, что применение сбалансированной системы прогнозных показателей деятельности предприятия в сфере охраны окружающей среды и природопользования позволит осуществлять качественное планирование и оптимальное распределение выделяемых средств на реализацию экологических проектов и программ [1–3].

В настоящий момент в рамках контроля и учета целевого использования средств предприятия все чаще требуется определение конкретных и детальных целей планирования бюджета исходя из конкретных стратегий и целевых программ. В такой постановке ресурсы распределяются в соответствии с различного рода приоритетами, а не уровнем затрат и используемыми ресурсами. На многих предприятиях планирование деятельности осуществляется без учета конкретных целевых ориентиров на основании количественных данных ретроспективных периодов. Зачастую, даже масштабные целевые программы, которые должны были вести к улучшению состояния окружающей среды, обеспечение рационального и безопасного использования и воспроизводства природных ресурсов, опирались только на лимиты бюджета, а не на измеримые целевые показатели [4; 5].

Таким образом, в основу исследования положено обеспечение защищенности окружающей природной среды, населения и объектов экономики, что в свою очередь вносит вклад в достижение приоритетных задач, направленных на улучшение состояния окружающей среды и ее компонентов, восстановление их и повышение ответственности природопользователей за снижение воздействия на окружающую среду. В такой постановке предприятию необходимо предпринимать меры по повышению ответственности конкретных природопользователей за охрану природы, по стимулированию выполнения хозяйствующими субъектами, осуществляющими природопользование, природоохранных мероприятий, направленных на снижение уровней образования отходов производства и потребления, поверхностных и морских вод, атмосферного воздуха, а также мероприятий по воспроизводству объектов животного мира [6–8].

Создание системы качественных и количественных показателей оценки эффективности природоохранной деятельности является одной из главных мер повышения эффективности расходов для этих целей средств. Данная система позволит обеспечивать финансированием те общественные блага и услуги, количество, качество, стоимость, время и место предоставления которых в наибольшей степени отвечают потребностям граждан (социальная эффективность); отказываться от направления средств на расходы, осуществляемые без надлежащего социально-экономического обоснования; осуществлять планирование на более длительную перспективу; устанавливать ответственность органов власти за конечный результат (как в количественном выражении, так и в качественном); реально оценивать

финансовое положение и финансовые возможности бюджета; повышать обоснованность принимаемых управленческих решений [9; 10].

## Методы

Для достижения поставленной цели исходя из данных принципов в работе предлагается использование системы прогнозных показателей, с описанием основных характеристик, алгоритма измерения, источников информации для расчета, непосредственных исполнителей, а также целевых значений [11].

Показатель 1. «Процентное соотношение ликвидированных нарушений из числа обнаруженных нарушений в сфере охраны окружающей среды и природопользования» (П1) используется для создания условий для повышения эффективности использования природных ресурсов и определяются как индекс роста в виде соотношения количества ликвидированных нарушений к общему числу обнаруженных нарушений. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>1</sub>) устанавливается на уровне 85 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $ПЗ_{1cp} \pm \sigma_{пз1}$ ) и фактических значений ( $ФЗ_{1cp} \pm \sigma_{фз1}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $72,0 \pm 5,3$  и  $57,0 \pm 3,2$ .

Показатель 2. «Процентное соотношение проинспектированных водных объектов из общего количества подконтрольных водных объектов» (П2) определяется как индекс роста в виде соотношения количества проинспектированных водных объектов к общему количеству подконтрольных водных объектов. Данный показатель отражает охват промышленных и хозяйствующих субъектов, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность в прибрежной полосе водоемов, рек и морей. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>2</sub>) устанавливается на уровне 50 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $ПЗ_{2cp} \pm \sigma_{пз2}$ ) и фактических значений ( $ФЗ_{2cp} \pm \sigma_{фз2}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $34,3 \pm 2,1$  и  $15,5 \pm 2,2$ .

Показатель 3. «Процентное соотношение особо охраняемых природных территорий, включенных в перечень контрольных мероприятий к их общему числу» (П3) определяется как индекс роста в виде соотношения количества особо охраняемых природных территорий, включенных в перечень контрольно-ревизионных мероприятий к общему числу. Показатель отражает ежегодный охват контрольно-надзорными мероприятиями деятельности предприятий, осуществляющих природопользование в границах особо охраняемых природных территорий. Показатель направлен на уменьшение негативного воздействия на природные комплексы и их компоненты, расположенные на особо охраняемых природных территориях от незаконной хозяйственной деятельности и иных нарушений природоохранного законодательства. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>3</sub>) устанавливается на уровне 90 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $ПЗ_{3cp} \pm \sigma_{пз3}$ ) и фактических значений ( $ФЗ_{3cp} \pm \sigma_{фз3}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $57,8 \pm 4,2$  и  $45,3 \pm 3,2$ .

Показатель 4. «Процентное соотношение водопользователей, сокративших массу загрязняющих веществ в сточных водах, в общем числе проинспектированных водопользователей» (П4) используется для обеспечения защищенности окружающей природной среды, населения и объектов экономики в области снижения уровня загрязнения поверхностных вод и определяется как индекс роста в виде отношения водопользователей, сокративших массу загрязняющих веществ в сточных водах, к общему числу проинспектированных водопользователей. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>4</sub>) устанавливается

на уровне 45 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $PZ_{4cp} \pm \sigma_{пз4}$ ) и фактических значений ( $FZ_{4cp} \pm \sigma_{фз4}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $27,3 \pm 2,7$  и  $15,1 \pm 1,7$ .

Показатель 5. «Численность мероприятий по обеспечению доказательной базы контрольно-ревизионной деятельности на водных объектах природопользования» (П5) определяется как цепной индекс роста мероприятий по обеспечению доказательной базы контрольно-ревизионной деятельности на водных объектах природопользования. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>5</sub>) устанавливается на уровне 95 %. Плановое значение показателя отражает ежегодный рост количества мероприятий, выполненных в отчетном году (в отчетном периоде) по отношению к количеству мероприятий, выполненных в предыдущем году. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $PZ_{5cp} \pm \sigma_{пз5}$ ) и фактических значений ( $FZ_{5cp} \pm \sigma_{фз5}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $80,8 \pm 6,2$  и  $87,0 \pm 4,9$ .

В первую очередь выполняются мероприятия по обеспечению доказательной базы для пресечения нарушений норм и правил: транспортное обеспечение водного контроля, отбор проб, анализы, экспертные работы по определению и расчету причиненного ущерба (вреда), в том числе по подготовке материалов для обоснования размера исков, предъявляемых инспекторами территориальных органов к природопользователям-нарушителям (для возмещения в добровольном или судебном порядке) по информационному обеспечению надзора на водных объектах и мероприятия по охране водной среды.

Показатель 6. «Процентное соотношение разрешений на репродукцию объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, в общем количестве выданных разрешений» (П6) направлен на поддержание сохранения и восстановления редких и находящихся под угрозой исчезновения объектов животного и растительного мира и определяется как отношение количества выданных разрешений на репродукцию объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации к общему количеству выданных разрешений. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>6</sub>) устанавливается на уровне 50 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $PZ_{6cp} \pm \sigma_{пз6}$ ) и фактических значений ( $FZ_{6cp} \pm \sigma_{фз6}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $33,9 \pm 4,3$  и  $26,4 \pm 2,4$ . Данный показатель оценивает интенсивность деятельности природопользователей по обеспечению восстановления численности объектов животного мира, занесенных в Красную Книгу, направленной на сохранение и восстановление животных. Для достижения оптимальной пропорции между разрешениями на воспроизводство и оборот животного мира Красной Книги позволит обеспечить восстановление биоразнообразия России.

Показатель 7. «Процентное соотношение экономических агентов, уменьшивших массу загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в общем числе инспектируемых» (П7) оценивает степень снижения загрязнения атмосферного воздуха и определяется как индекс роста в виде отношения экономических агентов, уменьшивших массу загрязняющих веществ в атмосферный воздух к общему числу инспектируемых. Целевое значение показателя (ЦЗ<sub>7</sub>) устанавливается на уровне 60 %. Ретроспективный анализ природоохранных мероприятий позволил определить величину вариации плановых ( $PZ_{7cp} \pm \sigma_{пз7}$ ) и фактических значений ( $FZ_{7cp} \pm \sigma_{фз7}$ ) показателей в рамках реализуемых на предприятии экологических программ соответственно  $20,3 \pm 2,5$  и  $35,6 \pm 3,1$ . Показатель отражает эффективность деятельности по косвенному увеличению количества природопользователей, снизивших по результатам контрольно-надзорных мероприятий массу вредных веществ в выбросах в атмосферный воздух в отчетном периоде, в общем количестве проверенных в этом периоде природопользователей.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в настоящий момент эффективность природоохранной деятельности определяется на основе комплексной системы оценки, состоящей из вышерассмотренных показателей, соответствующих определенным целевым ориентирам и тактическим задачам [12; 13].

Для построения сбалансированной системы показателей оценки результативности природоохранной деятельности были соблюдены принципы экономичности, интенсивности, непосредственных и конечных результатов деятельности. Критерии экономичности ( $F_{эк}$ ) — описывают количество и качество финансовых, материальных, трудовых ресурсов, используемых для осуществления природоохранной деятельности. Критерии интенсивности ( $F_{инт}$ ) — описывают суть проводимых мероприятий и их существенные количественные и качественные характеристики. Критерии непосредственных результатов деятельности ( $F_{нпрез}$ ) — характеризуют объем и качество деятельности государственных органов исполнительной власти. Критерии конечных результатов деятельности ( $F_{кррез}$ ) — характеризуют эффект для внешних потребителей от осуществления функций предприятия. Таким образом, каждое природоохранное мероприятие описывается сформированным в работе исходным множеством оценочных критериев  $\{F_{кк}\} = \{F_1, F_2, \dots, F_q\}$ , где  $q = \overline{1,3}$  — количество групп оценочных критериев (конечная результативность, промежуточная результативность, интенсивность). Оценивая систему с позиции комплексного охвата показателями всех направлений деятельности (комплексный критерий)  $F_{кк} = \{F_{кррез}\} \cup \{F_{нпрез}\} \cup \{F_{инт}\}$ , можно заключить, что используемые показатели нацелены на отражение степени реализации следующих функций: контрольно-надзорной функции в области охраны атмосферного воздуха; контрольно-надзорной функции в области водной среды; контрольно-надзорной функции в области функционирования, охраны и использования особо охраняемых территорий. На базе сформированных исходных множеств оценочных критериев  $\{F_{кррез}\}, \{F_{нпрез}\}, \{F_{инт}\}$  была реализована процедура определения соответствия множества используемых показателей  $\{П\} = \{П1, П2, \dots, П7\}$ . Оценивая существующую практику исчисления показателей эффективности контрольно-надзорной деятельности в области природопользования исходя из существующей методики построения комплексной системы оценки на основе критериев экономичности, интенсивности и результативности, целесообразно построить логическую модель оценки эффективности природоохранной деятельности предприятия (табл. 1) [14].

Таблица 1

**Логическая модель планирования и оценки  
 эффективности природоохранной деятельности предприятия**

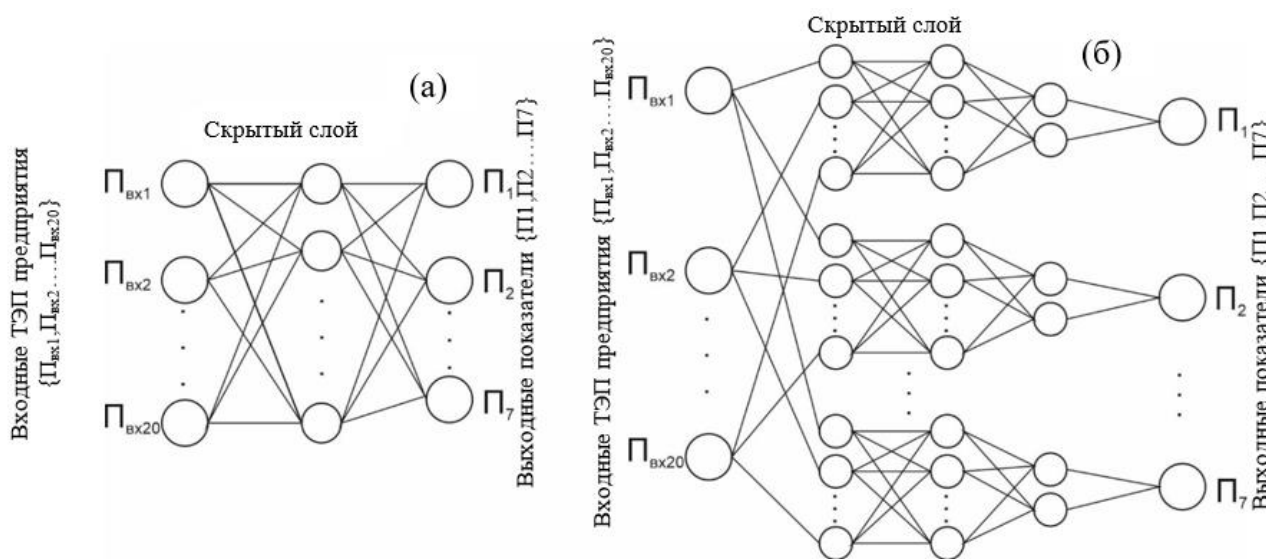
Виды критериев	Используемые показатели
Конечная результативность $\{F_{кррез}\} = \{П1, П4, П7\}$	Показатель 1. «Процентное соотношение ликвидированных нарушений из числа обнаруженных нарушений в сфере охраны окружающей среды и природопользования» (П1)
	Показатель 4. «Процентное соотношение водопользователей, сокративших массу загрязняющих веществ в сточных водах, в общем числе проинспектированных водопользователей» (П4)
	Показатель 7. «Процентное соотношение экономических агентов, уменьшивших массу загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в общем числе инспектируемых» (П7)
Промежуточная результативность $\{F_{нпрез}\} = \{П6\}$	Показатель 6. «Процентное соотношение разрешений на репродукцию объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, в общем количестве выданных разрешений» (П6)
Интенсивность $\{F_{инт}\} = \{П2, П3, П5\}$	Показатель 2. «Процентное соотношение проинспектированных водных объектов из общего количества подконтрольных водных объектов» (П2)
	Показатель 3. «Процентное соотношение особо охраняемых природных территорий, включенных в перечень контрольных мероприятий к их общему числу» (П3)
	Показатель 5. «Численность мероприятий по обеспечению доказательной базы контрольно-ревизионной деятельности на водных объектах природопользования» (П5)

Разработано автором

Анализ матрицы показал, что с позиции критерия конечной результативности оценивается только по степени улучшения экологической обстановки, связанной со снижением массы загрязняющих веществ в сточных водах, в выбросах в атмосферный воздух и изменению общей степени воздействия природопользователей на окружающую среду. Функции по осуществлению контрольно-надзорной деятельности на особо охраняемых территориях и водных объектах анализируются только с позиции ее интенсивности, то есть количеству осуществляемых мероприятий. При этом, в общей модели оценки отсутствуют показатели, характеризующие экономичность деятельности, степень использования трудовых, материально-производственных ресурсов, от формирования которых зависит эффективность деятельности и отклонения в которой влияют на общую результативность. Для учета влияния данных факторов на природоохранную деятельность предприятия данные показатели предлагается использовать в качестве исходных входных переменных для целей планирования и прогнозирования [15].

### Результаты и обсуждение

В такой постановке задачи планирования и прогнозирования основных природоохранных показателей в рамках реализуемых экологических мероприятий возможно отнести к задачам классической регрессии, которые возможно решить с использованием нейронных сетей следующих типов: многослойный персептрон; обобщенно-регрессионная сеть; линейная сеть; радиальная базисная функция. При этом, для достижения эффекта масштабирования данных рекомендуется применить минимаксную функцию, позволяющую выполнить линейное преобразование с применением масштабирования и смещения для получения необходимого уровня целевого диапазона входных и выходных данных. Обучение сети возможно произвести путем корректировки весов и уменьшением суммарной ошибки моделирования на обучающем множестве одним из традиционно используемых способов: метод обратного распространения; метод сопряженных градиентов; метод Левенберга-Маркара. В рамках поставленной задачи планирования и прогнозирования показателей природоохранных мероприятий в работе произведено сравнение многослойного персептрона (МП) и модульного варианта нейронной сети (МВНС) (рис. 1).



**Рисунок 1.** Общая схема построения многослойного персептрона (а) и модульного варианта нейронной сети (б) для решения задачи планирования и прогнозирования основных природоохранных показателей (разработано автором)

В качестве входных показателей для планирования и прогнозирования были выбраны основные технико-экономические показатели предприятия, характеризующие объемно-качественные и стоимостные направления производственно-хозяйственной деятельности [16]. Выбор оптимальной структуры МП и МВНС (количество нейронов скрытого слоя, число слоев) производился пошаговым изменением нейронов скрытого слоя от 10 до 100 с шагом 20. В ходе проведенных исследований было установлено, что минимальные ошибки обучения и обобщения дает МВНС с количеством скрытых слоев равным 50 (табл. 2).

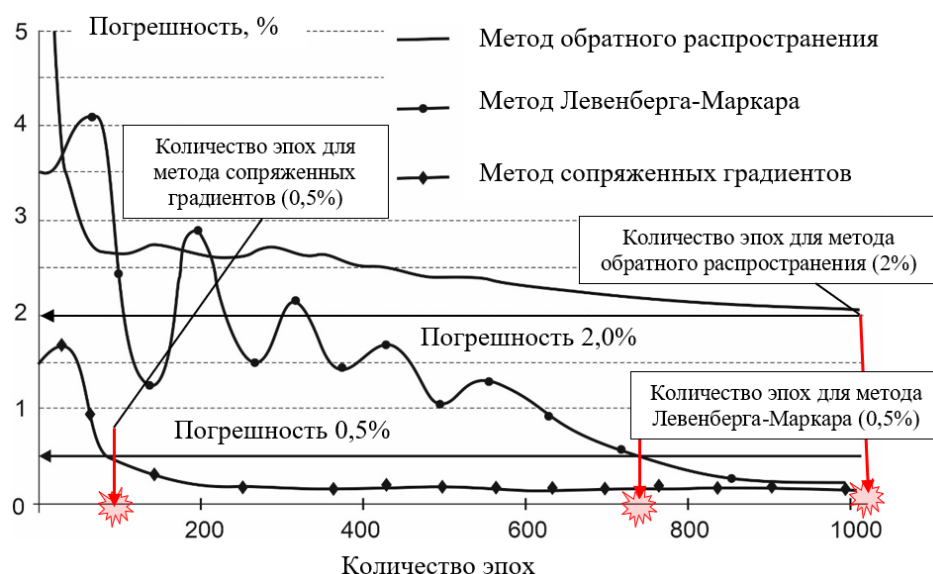
**Таблица 2**

**Расчет ошибок обучения и обобщения с оптимальным количеством скрытых нейронов для многослойного персептрона (МП) и модульного варианта нейронной сети (МВНС)**

Вид нейронной сети	Количество скрытых нейронов	Ошибка обучения, %		Ошибка обобщения, %	
		среднее	среднее квадратическое отклонение	среднее	среднее квадратическое отклонение
МП	30	1,26	0,315	2,127	0,634
МВНС	50	0,43	0,112	0,395	0,101

*Разработано автором*

На следующем этапе исследования произведена оценка эффективности применения различных подходов к обучению нейронной сети с расчетом средних погрешностей обучения (рис. 2). Проведенные исследования позволили выявить наиболее предпочтительный алгоритм обучения (метод сопряженных градиентов), позволяющий за 115 эпох получить погрешность прогнозных показателей не превышающую 0,5 %. Таким образом, погрешности построенных нейронных моделей находятся в следующих пределах: ошибка обучения (средняя 0,43–1,26 %, среднеквадратическое отклонение 0,112–0,315 %); обобщения (средняя 0,395–2,127 %, среднеквадратическое отклонение 0,101–0,634 %).



**Рисунок 2.** Сравнительный анализ алгоритмов обучения для задачи прогнозирования планирования и прогнозирования основных природоохранных показателей с использованием модульного варианта нейронной сети (разработано автором)

Определение конечного вида используемых критериев предлагается осуществить на основе свертки показателей, предусматривающей построение некоторых скалярных функций следующего вида  $F_{крз}(П) = f(П1, П4, П7)$ ,  $F_{прз}(П) = f(П6)$ ,  $F_{инт}(П) = f(П2, П3, П5)$ .

Для сведения многокритериальной задачи к однокритериальной, предлагается использовать метод поиска альтернатив с заданными (целевыми) свойствами по всем оценочным показателям (критериям), что приводит к возникновению в критериальном пространстве целевой (идеальной точки) [17]. Формализация числовой меры близости к целевой точке может обеспечить с учетом уровня значимости критериев требуемую однокритериальную оценку.

$$l(\Phi Z_{cp}, ЦЗ) = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i (\Phi Z_{cpi} - ЦЗ_i)^2}, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  — весовое значение соответствующего  $i$ -го показателя.

В такой постановке оптимальное природоохранное мероприятие (ПМ) будет описываться следующей функцией выбора  $ПМ_{opt} = \{ПМ / ПМ = \arg \min l(\Phi Z_{cp}, ЦЗ)\}$ .

На основе экспертно-моделирующих процедур было осуществлено распределение групп критериев по важности (значимости) с учетом конечной, промежуточной результативности и интенсивности ( $\alpha_b$ ),  $b = \overline{1,3}$ ,  $\sum_{b=1}^{b=3} \alpha_b = 1$  (табл. 2).

Таблица 3

**Оценка вариации (среднее значение и стандартное отклонение) плановых, фактических и целевых показателей природоохранного мероприятия**

Показатель	Целевое значение (ЦЗ), %	Плановое значение (ПЗ <sub>ср</sub> ± σ <sub>пз</sub> ), %	Фактическое значение (ФЗ <sub>ср</sub> ± σ <sub>фз</sub> ), %	Отклонение (ФЗ <sub>ср</sub> - ПЗ <sub>ср</sub> ), %	Отклонение (ФЗ <sub>ср</sub> - ЦЗ), %	Вес критерия (α <sub>b</sub> )
1	2	3	4	5	6	7
П1	85	72,0 ± 5,3	57,0 ± 3,2	-15,0	-28,0	0,5
П4	45	27,3 ± 2,7	15,1 ± 1,7	-12,3	-30,0	
П7	60	20,3 ± 2,5	35,6 ± 3,1	15,3	-24,4	
П6	50	33,9 ± 4,3	26,4 ± 2,4	-7,5	-23,6	0,2
П2	50	34,3 ± 2,1	15,5 ± 2,2	-18,8	-34,5	0,3
П3	90	57,8 ± 4,2	45,3 ± 3,2	-12,5	-44,8	
П5	95	80,8 ± 6,2	87,0 ± 4,9	6,3	-8,0	

Разработано автором

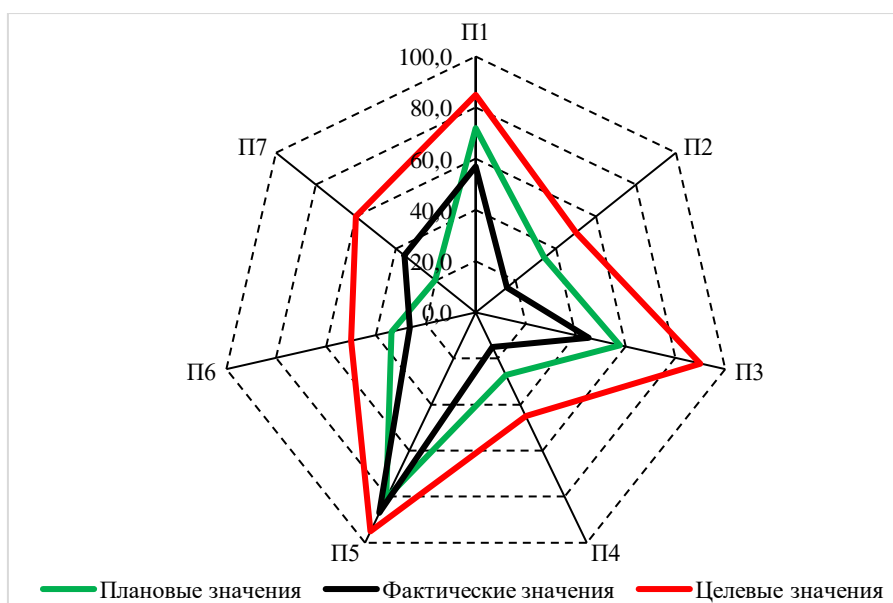


Рисунок 3. Диаграмма отклонений плановых, фактических и целевых значений показателей оценки природоохранного мероприятия (разработано автором)



Для полноты анализа и оценки эффективности природоохранной деятельности предприятия целесообразно оценить его результаты в этой сфере за предшествующие периоды с использованием данной системы показателей. Важной прогнозной характеристикой эффективности на основе системы показателей является оценка обоснованности планового задания с точки зрения степени достижимости его целевого значения. Сравнительный анализ фактических значений показателей, достигнутых за прошедшие пять лет с плановыми и целевыми значениями позволил оценить общую тенденцию обоснованности целевых и плановых значений на основе анализа динамики и соответствия значений каждого показателя в отдельности. Анализ отклонений фактических значений показателей от целевых ориентиров (табл. 3, рис. 3) позволил определить первоочередные направления в природоохранной деятельности предприятия.

### Выводы

Таким образом, проведенный анализ действующей практики расчета и оценки показателей в области природопользования и охраны окружающей среды, его плановых и целевых значений позволил выявить слабые и сильные стороны, возможности и опасности для проведения комплексной оценки эффективности и результативности деятельности предприятия в данном направлении.

Для достижения указанной цели разработана система сбалансированных прогнозных показателей предприятия в сфере охраны окружающей среды и природопользования, приведено описание основных характеристик, алгоритма их непосредственного сбора и измерения, а также возможных источников информации для расчета, ответственных исполнителей и заданного уровня целевых значений.

Задача планирования и прогнозирования основных природоохранных показателей была решена с использованием нейронных сетей. Произведено сравнение характеристик для задач прогнозирования сбалансированной системы природоохранных показателей многослойного перцептрона и модульного варианта нейронной сети, а также осуществлена оценка эффективности применения различных подходов к обучению нейронной сети с расчетом величин средних погрешностей.

Решения многокритериальной задачи выбора было осуществлено методом поиска оптимальных альтернатив с заданными (целевыми) свойствами по всем оценочным показателям (метод идеальной точки). Распределение групп критериев по значимости с учетом конечной, промежуточной результативности и интенсивности было реализовано на основе экспертно-моделирующих процедур.

Сравнительный индексный анализ (расчет темпов роста) динамики фактических значений показателей, достигнутых за прошедшие пять лет с плановыми и целевыми значениями дал возможность оценить обоснованность и достоверность целевых и плановых значений реализуемых экологических проектов и программ, а также позволил определить первоочередные тренды в природоохранной деятельности предприятия.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А.А. Основы информационного обеспечения мониторинга техногенных циклов горно-металлургических предприятий. — Нальчик: КБНЦ РАН, 2020. — 170 с.

2. Колобанов К.А., Филатова М.Ю., Бубнова М.Б., Ромашкина Е.А. Совершенствование методов оценки загрязнения экосферы от горнопромышленных отходов с использованием математического аппарата // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 4. — С. 85–99. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_85.
3. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. Estimation and reduction of methane emissions at the scheduled and repair outages of gas-compressor units // Journal of Ecological Engineering. 2019, vol. 20, no. 1, pp. 46–51. DOI: 10.12911/22998993/93943.
4. Boente C., Millan-Martinez M., Sánchez de la Campa A.M., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J.D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during openpit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // Atmospheric Pollution Research. 2022, vol. 13, no. 4, article 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
5. Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107118.
6. Abruzzi R.C., Bonetti B., Marçal J.R.P., Berenice A.D., Bitencourt A.K. Artifacts in the analysis and assessment of low-cost containers for sampling and storing greenhouse gases // Quimica Nova. 2019, vol. 42, no. 1, pp. 84–94. DOI: 10.21577/0100-4042.20170299.
7. Salo H., Makinen J. Comparison of traditional moss bags and synthetic fabric bags in magnetic monitoring of urban air pollution // Ecological Indicators. 2019, vol. 104, pp. 559–566. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.033.
8. Шабанов М.В., Маричев М.С. Оценка трансформации природно-территориальных комплексов при горнопромышленном техногенезе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — № 3. — С. 90–99. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2535.
9. Петров Ю.С., Соколов А.А., Раус Е.В. Математическая модель оценки техногенного ущерба от функционирования горных предприятий // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 4(42). — С. 554–559. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-554-559.
10. Ukaogo P.O., Ewuzie U., Onwuka C.V. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies / Microorganisms for Sustainable Environment and Health. 2020, pp. 419–429. DOI: 10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8.
11. Parajuli R.P., Shin H.H., Maquiling A., Smith-Doiron M. Multi-pollutant urban study on acute respiratory hospitalization and mortality attributable to ambient air pollution in Canada for 2001–2012 // Atmospheric Pollution Research. 2021, vol. 12, no. 12. DOI: 10.1016/j.apr.2021.101234.
12. Илиаш Н., Дунка Э., Оффенберг Ю., Тешеляну Д., Предойу И. Элементы геоэкологического аудита и учета объектов окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 359–371. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_31\_0\_359.

13. Левакова И.В., Арустамов Э.А. Некоторые аспекты оценки экологического состояния Кемеровской области // Вестник евразийской науки. — 2019. — № 6. — С. 1–8.
14. Семячков А.И., Почечун В.А. Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 215–223. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2215-223.
15. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. Integrated monitoring of slope processes in India and Russia // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 572–581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.
16. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В. К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Колыванского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 465–474. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.
17. Volkodaeva M.V., Volodina Ya.A., Kuznetsov V.A. Air sample system optimization for the raw materials industry objects monitoring / Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals. 2020, pp. 236–243. DOI: 10.1201/9781003164395-29.

**Mohmedhussen Alaa Nazeeh Mohmedhussen**

MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia

E-mail: [ciop@misis.ru](mailto:ciop@misis.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8688-9029>

## **Solving the problem of choosing environmental measures based on neural network modeling of a balanced system of indicators of an enterprise's activities in the field of environmental management**

**Abstract.** As part of the study, an assessment was made of the degree of achievement by the enterprise of target indicators in the field of nature management. The results of assessing the achievement of planned and forecast values become the basis for identifying problem areas and making changes to the development strategy, thereby improving the final effectiveness of environmental measures and programs. The aim of the work is to increase the efficiency of the enterprise in the field of environmental protection and nature management based on the choice of optimal directions for environmental activities and programs. The idea of the work is to use neural network forecasts of the balanced scorecard of the enterprise in the field of environmental management. The subject of the study was the predictive indicators of nature management within the framework of an integrated system for analyzing the effectiveness of an enterprise.

In the course of the research, the key principles and requirements that make up the conceptual basis for improving the system of performance indicators of enterprises in the field of environmental protection and nature management were identified, an analysis was made of the need to introduce new indicators and adjust existing forecast indicators. A neural network modeling of the formed balanced system of indicators of the enterprise's activities in the field of environmental management was carried out, a comparative analysis of learning algorithms and calculation of forecasting errors for various variants of neural networks was carried out. The problem of choosing environmental protection measures has been solved and the significance of the main environmental directions of development has been substantiated on the basis of expert modeling procedures. The main results of the work are aimed at obtaining a real assessment of the effectiveness of the enterprise's activities in the field of environmental protection, as well as at high-quality planning and spending of funds allocated for the implementation of environmental activities and programs.

**Keywords:** neural network modeling; balanced scorecard; environmental protection; environmental management; selection task; prediction error; neural network training methods