

swarm intelligence algorithms (bee colony, ant colony, firefly algorithms) for personalized training trajectories and staff qualification improvement, as well as evolutionary modelling for rational distribution of welding assignments among workers. Integration of defect data detected by convolutional neuro-fuzzy networks ensures a closed-loop feedback cycle, increasing the objectivity of work quality assessments and the validity of managerial decisions. Applying the technology for improving the efficiency of managing welding work organization using the developed software complex comprises six consecutive stages, starting from defect identification and ending with task redistribution adjustments after training. The developed approach improves the quality of welds, reduces labour intensity, and shortens execution timelines.

Keywords: managing welding work organization, decision support, evolutionary modelling, bee colony algorithm, ant colony algorithm, firefly algorithm, convolutional neuro-fuzzy networks, software complex

For citation: Zarovchatskaya E.V., Zakharchenkov K.V. Software Complex for Intelligent Decision Support in Managing Welding Work Organization. Automation and modeling in design and management, 2025, no. 4 (30). pp. 40-51. doi: 10.30987/2658-6436-2025-4-40-51.

Введение

Современные требования к качеству и надежности сварных конструкций в таких отраслях, как энергетика, машиностроение и транспорт, предъявляют повышенные запросы к управлению сварочным производством. Традиционные подходы к обучению сварщиков и организации сварочных работ, основанные на субъективной оценке квалификации сварщиков и ручном распределении задач между сварщиками, зачастую не обеспечивают достаточной эффективности в вопросах объективной непредвзятой оценки квалификации сварщиков, сопоставления квалификации сварщиков и требований заказчика в процессе распределения сварочных работ [1]. Одновременно растет потребность в повышении эффективности обучения и переподготовки сварщиков путем выбора наиболее подходящих учебных курсов и формирования индивидуальных траекторий обучения сварщиков с учётом качества работ (количества и типов дефектов сварных швов).

В условиях быстро изменяющейся внешней среды сварочного производства – от обновления нормативной базы до внедрения новых технологий сварки – актуальной является задача создания методики и программных средств, обеспечивающих повышение эффективности организации обучения сварщиков и распределения сварочных работ.

В работе [2] была предложена технология повышения эффективности управления сварочными работами, реализованная на основе комплексного использования алгоритмов роевого интеллекта, эволюционного моделирования в сочетании с применением сверточных нейро-нечетких сетей (СННС). В настоящей работе предлагается реализация данной технологии в виде программного комплекса интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ, который объединяет функции выбора лучших и перспективных учебных курсов, построения индивидуальных траекторий обучения сварщиков, распределение работ между сварщиками. Применение программного комплекса (ПК), обеспечивает повышение эффективности управления сварочными работами на основе интеграции методов мягких вычислений (алгоритмов роевого интеллекта, эволюционного моделирования, сверточных нейро-нечетких сетей), общей теории управления организационными системами и современных технологий контроля качества сварных швов. В разработанном ПК данные о дефектах сварных швов формируются автоматически с использованием СННС, становятся основой для формирования индивидуальных образовательных траекторий и рационального распределения задач между сварщиками. Применение алгоритмов роевого интеллекта позволяет сократить время и повысить качество обучения сварщиков. Применение эволюционного моделирования позволяет сократить количество дефектов сварных швов при выполнении сварочных работ.

Целью исследования является разработка состава и структуры ПК интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ и описание особенностей реализации технологии с его помощью.

Состав задач программного комплекса

Диаграмма вариантов использования ПК интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ представлена на рис. 1. Пользовательские истории, соответствующие каждому варианту использования разработанного ПК, представлены в табл. 1.



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования программного комплекса интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ
Fig. 1. Diagram of options for using the software package for intelligent decision support in managing the organization of welding operations

Таблица 1
 Table 1

Пользовательские истории
User Stories

Актер	Действие	Цель
Руководитель сварочных работ	регистрация сварочных работ	сбор исходных данных о результатах выполнения работ на основе анализа дефектов сварных швов
	регистрация сварщика	сбор исходных данных для поддержки принятия решений при назначении исполнителей на работы
	обработка информации о результатах работы сварщиков	поддержка принятия решения при оценке необходимости переаттестации и повышения квалификации сварщика и распределения сварочных работ между исполнителями
	просмотр информации о сварщике	получение информации о результатах обучения и работы сварщика
	анализ результатов обучения, аттестации и конкурсов	поддержка принятия решений при выборе лучших и перспективных курсов, при построении индивидуальных траекторий обучения сварщиков
	поддержка принятия решений в процессе обучения сварщиков	выбор лучших и перспективных курсов, построение индивидуальных траекторий обучения сварщиков
	назначение исполнителей на работы	получение первоначального варианта распределения сварочных работ между исполнителями
	распределение работ между сварщиками с применением эволюционного моделирования	получение рационального варианта распределения сварочных работ между исполнителями
	просмотр результатов распределения сварочных работ между исполнителями на основе эволюционного моделирования	поддержка принятия решений о распределении сварочных работ между исполнителями
Сварщик	вывод списка работ (заданий)	получение информации об используемых технологиях, сроках исполнения
	просмотр результатов контроля качества выполнения работ	получение информации о фактических сроках исполнения, количестве дефектов, фактической трудоемкости

Состав и структура программного комплекса

Программный комплекс интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ состоит из следующих модулей (рис. 2): модуль обучения сварщиков, модуль управления организационным процессом обучения сварщиков, модуль анализа результатов работы сварщиков, модуль распределения сварочных работ между исполнителями, модуль распознавания дефектов сварных швов на основе сверточных нейронных сетей. На рис. 2 выделены модули, содержащие авторские алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе мягких вычислений при управлении сварочными работами.

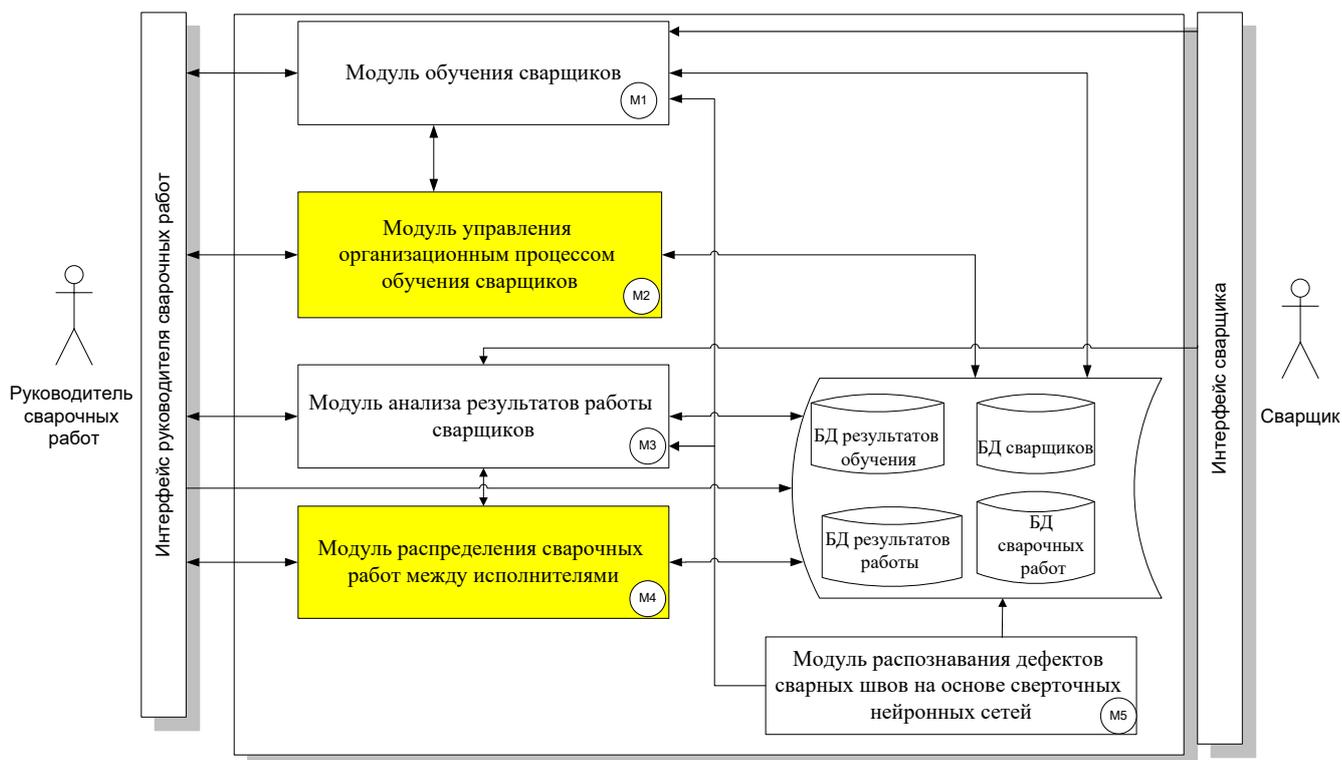


Рис. 2. Состав и структура программного комплекса интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ

Fig. 2. The composition and structure of the software package for intelligent decision support in managing the organization of welding operations

Модуль обучения сварщиков M1 обеспечивает учет и контроль прохождения сварщиками учебных курсов, повышения квалификации, аттестации, участие в конкурсах. Необходимость обучения и повышения квалификации определяется на основе результатов работы с учетом количества дефектов сварных швов. Данные о дефектах сварных швов для каждого сварщика по результатам работы, прохождения аттестации, участия в конкурсах попадают в модуль по результатам визуально-измерительного, рентгенографического и ультразвукового контроля.

Основной функцией модуля является анализ результатов обучения, аттестации и конкурсов для оценки качества обучения сварщиков (модуль M1). Данные поступают из базы данных «БД результатов обучения». Результатом выполнения данной функции является оценка качества обучения каждого сварщика каждому виду сварочных работ по результатам анализа количества дефектов сварных швов.

Вспомогательными функциями модуля являются:

- регистрация сварщика (модули M1 и M3) для ввода данных о сварщике. Для оценки уровня квалификации сварщик выполняет сварку контрольных образцов. Полученные данные сохраняются в базе данных «БД результатов работы» и в дальнейшем используются при обучении сварщиков и распределении сварочных работ между исполнителями;

– просмотр информации об сварщике (модули М1 и М3) для предоставления руководителю сварочных работ информации о результатах обучения и результатах работы каждого сварщика для последующего распределения сварочных работ между исполнителями. Данные поступают из баз данных «БД результатов обучения» и «БД результатов работы»;

– просмотр результатов контроля качества выполнения работ (модули М1, М3 и М5) сварщиком и руководителем сварочного производства. Результатом является предоставление информации о фактических сроках исполнения, количестве дефектов, фактической трудоемкости.

Модуль управления организационным процессом обучения сварщиков М2 предназначен для поддержки принятия решений при обучении сварщиков. В данном модуле реализованы авторские алгоритмы повышения эффективности обучения сварщиков с использованием алгоритмов роевого интеллекта.

Основной функцией модуля является поддержка принятия решений в процессе обучения сварщиков с применением алгоритма роя пчел для выбора лучших и перспективных курсов, алгоритма муравьиной колонии для формирования индивидуальных траекторий обучения сварщиков, алгоритма светлячков для формирования траекторий обучения сварщиков выбранным видам работ и технологиям [4, 5]. Данные о результатах распознавания дефектов сварных швов поступают из модуля М5. Информация о результатах обучения сварщиков поступает из базы данных «БД результатов обучения». Результатом выполнения данной функции является перечень лучших и перспективных курсов, индивидуальные траектории обучения сварщиков.

Модуль анализа результатов работы сварщиков М3 обеспечивает автоматизацию учета работы сварщиков. Использование технологий *QR*- и *RFID*-кодирования, средств автоматического распознавания дефектов сварных швов обеспечивает объективную непредвзятую оценку качества сварочных работ. Данный модуль позволяет анализировать результаты работы каждого сварщика и учитывать результаты анализа в процессе оценки необходимости обучения, переаттестации и распределения работ между сварщиками [6, 7].

Основной функцией модуля является обработка информации о результатах работы сварщиков на основе результатов визуально-измерительного, рентгенографического и ультразвукового контроля (модуль М3). Данные о результатах распознавания дефектов сварных швов поступают из модуля М5. Результатом выполнения данной функции является формирование для каждого сварщика перечня работ с перечнем количества и размеров каждого вида дефектов сварных швов.

Вспомогательной функцией модуля является регистрация сварочных работ (модуль М3) для ввода перечня сварочных работ на основании данных заказов, технологических процессов и технологических инструкций. Данные сохраняются в базе данных «БД сварочных работ».

Модуль распределения сварочных работ между исполнителями М4 предназначен для поддержки принятия решений руководителя сварочных работ при выдаче заданий сварщикам. В данном модуле реализован авторский алгоритм распределения сварочных работ между исполнителями на основе эволюционного моделирования [6 – 8].

Основной функцией модуля является распределение работ между сварщиками с применением эволюционного моделирования. Данные о результатах работы сварщиков поступают из базы данных «БД результатов работы». Результатом выполнения данной функции является рациональный вариант распределения сварочных работ между исполнителями.

Вспомогательными функциями модуля являются:

– просмотр результатов распределения сварочных работ между исполнителями для оценки результатов распределения сварочных работ между исполнителями руководителем. Результатом является предоставление руководителю сварочного производства информации о рациональном распределении работ между сварщиками, полученном по результатам эволюционного моделирования. В случае если несколько команд имеют одинаковый уровень качества и время выполнения работ, выбор состава команды осуществляется руководителем сварочного производства;

– назначение исполнителей на работы для формирования первоначального варианта распределения сварочных работ между исполнителями; для просмотра результатов распределения работ между сварщиками;

– вывод списка работ (заданий) сварщику. Результатом является предоставление информации сварщику перечня работ с указанием используемых технологий и сроков исполнения.

Модуль распознавания дефектов сварных швов на основе СННС М5 предназначен для автоматического распознавания дефектов на рентгеновских снимках сварных соединений на основе сверточных нейро-нечетких сетей [9]. Данный модуль разработан сторонним коллективом. Результаты рентгенографического контроля служат входными данными для нейросетевой модели, обученной с использованием ряда методов, включая подход «переключения задач», разработанный специально для условий ограниченного объёма обучающих данных. Он сочетает компактную архитектуру детектора *YOLOv8* с небольшим рецептивным полем, стратегиями аугментации данных и приёмами трансферного обучения, что позволяет эффективно компенсировать дефицит размеченных изображений за счёт упрощённой структуры модели и снижения классового дисбаланса. Применение сверточных нейронных сетей обеспечивает автоматизацию процессов выявления, классификации и оценки критичности дефектов сварных швов, значительно сокращая время анализа. Результаты работы модуля используются в модуле обучения сварщиков и в модуле повышения эффективности работы сварщиков.

Реализация технологии повышения эффективности процессов управления организацией сварочных работ с помощью разработанного программного комплекса

Для повышения эффективности управления процессами обучения сварщиков и распределение заданий между ними разработана технология, использующая описанный ПК [2]. Предварительно в ПК интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ вносятся данные о сварщиках, а также результаты выполненных ими ранее работ. Реализация технологии повышения эффективности процессов управления организацией сварочных работ с помощью разработанного ПК включает следующие этапы [4, 10].

Этап 1. Оценка первоначальных знаний, умений и навыков сварщиков на основе результатов сварки контрольных образцов. Модуль распознавания дефектов сварных швов используется на данном этапе для автоматического распознавания прожогов, трещин, непроваров, газовых пор и других дефектов сварных швов, появляющихся при сварке контрольных образцов. Модуль анализа результатов работы сварщиков на данном этапе используется для учета и анализа результатов ВИК, РК, УЗК контрольных образцов. Результаты данного этапа используются для поддержки принятий решений в модулях управления организационными процессами обучения сварщиков и распределения сварочных работ между исполнителями.

Этап 2. Комплексная обработка информации о результатах опыта работы сварщиков. На данном этапе используется модуль анализа результатов работы сварщиков для анализа результатов ВИК, РК, УЗК. Основой измерения размеров дефектов сварных швов являются методики, представленные в нормативно-технической документации [11 – 13]. Результаты анализа являются исходными данными для модуля распределения сварочных работ между исполнителями.

Этап 3. Обучение сварщиков востребованным технологиям и сварочным работам. На данном этапе используется модуль управления организационным процессом обучения сварщиков.

Шаг 3.1. Выбор лучших и перспективных курсов на основе алгоритма роения пчел. Реализация алгоритма приведена в виде псевдокода с пояснениями каждого шага.

АЛГОРИТМ РОЕНИЯ ПЧЕЛ (сварщик, все_курсы, требование)

НАЧАЛО

% Отфильтровать курсы по требуемому навыку

подходящие_курсы = все_курсы, у которых Навык == требование.Навык

% Отсортировать по эффективности: снижение дефектов на час обучения (по убыванию)

отсортированные_курсы = отсортировать(подходящие_курсы,
по ключу: курс.КоэффициентСниженияДефектов / курс.Продолжительность,
по убыванию)

% Выбрать топ-20 самых эффективных курсов (разведчики)

кандидаты = первые 20 курсов из отсортированные_курсы

% Среди кандидатов выбрать тот, который даёт наименьший уровень дефектов после прохождения

лучший_курс = кандидаты,
отсортированные по СимулироватьУровеньДефектовПосле(сварщик, курс),
взять первый (или ничего, если список пуст)

% Если ни одного курса нет, можно обработать ошибку, но в коде предполагается, что есть хотя бы один

ВЕРНУТЬ новый ТрекОбучения с:

Путь = [лучший_курс],

ОбщееСнижениеДефектов = лучший_курс.КоэффициентСниженияДефектов,

ОбщаяПродолжительность = лучший_курс.Продолжительность,

ИтоговаяОценка = 1.0 / лучший_курс.КоэффициентСниженияДефектов

КОНЕЦ

Рейтинг курсов, построенный на основе алгоритма роения пчел

№	ID курса	Название	Работа	Снижение дефектов	Длительность (мин)
1	12	Курс 12	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2800	95
2	89	Курс 89	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2900	98
3	100	Курс 100	Сварка труб диаметром 57 мм	0.3000	100
4	13	Курс 13	Сварка труб диаметром 76 мм	0.2800	125
5	90	Курс 90	Сварка труб диаметром 76 мм	0.2900	128
6	101	Курс 101	Сварка труб диаметром 76 мм	0.3000	130
7	14	Курс 14	Сварка труб диаметром 89 мм	0.2800	155

Рис. 3. Результаты работы алгоритма роения пчел

Fig. 3. Results of the bee swarm algorithm

Шаг 3.2. Формирование индивидуальных траекторий обучения сварщиков на основе алгоритма муравьиной колонии. Реализация алгоритма приведена в виде псевдокода, с пояснениями каждого шага.

АЛГОРИТМ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ (сварщик, все_курсы, требование)

НАЧАЛО

% Отфильтровать курсы по требуемому навыку

курсы_по_навыку = все_курсы, у которых Навык == требование.Навык

лучший_путь = пустой список курсов

лучший_уровень_дефектов = бесконечность

% Перебрать все возможные перестановки курсов

For перестановки ИЗ ВсеПерестановки(курсы_по_навыку)

```

текущий_уровень_дефектов = СимулироватьУровеньДефектов(сварщик, перестановка)
If текущий_уровень_дефектов < лучший_уровень_дефектов Then
    лучший_уровень_дефектов = текущий_уровень_дефектов
    лучший_путь = копия(перестановка)
End If
End
% Рассчитать итоговые метрики
итоговое_снижение_дефектов = СУММА(курс.КоэффициентСниженияДефектов для каждого курс в лучший_путь)
общая_продолжительность = СУММА(курс.Продолжительность для каждого курс в лучший_путь)
итоговая_оценка = 1.0 / лучший_уровень_дефектов
Return новый ТрекОбучения с:
    Путь = лучший_путь,
    ОбщееСнижениеДефектов = итоговое_снижение_дефектов,
    ОбщаяПродолжительность = общая_продолжительность,
    ИтоговаяОценка = итоговая_оценка
End

```

Маршрут обучения работам по сварке труб

№	ID курса	Название	Работа	Снижение дефектов	Длительность (мин)
1	12	Курс 12	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2800	95
2	67	Курс 67	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2700	96
3	14	Курс 14	Сварка труб диаметром 89 мм	0.2800	155
4	34	Курс 34	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2600	92
5	89	Курс 89	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2900	98
6	90	Курс 90	Сварка труб диаметром 76 мм	0.2900	128
7	1	Курс 1	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2500	90

Рис. 4. Результаты работы алгоритма муравьиной колонии
Fig. 4. Results of the ant colony algorithm

Шаг 3.3. Обучение сварщиков выбранным видам работ на основе алгоритма светлячков. Реализация алгоритма приведена в виде псевдокода, с пояснениями каждого шага.

АЛГОРИТМ СВЕТЛЯЧКОВ (сварщик, все_курсы, требование)

НАЧАЛО

СОЗДАТЬ пустой трек_обучения

% Выбрать курсы, соответствующие требуемому навыку

курсы_по_навыку = все_курсы, у которых Навык == требование.Навык

% Рассчитать разницу в опыте

недостаток_опыта = требование.ТребуемыеГодыОпыта - сварщик.ГодыОпыта

% Определить, сколько курсов взять

If недостаток_опыта > 0 Then

```

        количество_курсов = МИНИМУМ(недостаток_опыта, количество_курсов)
    Else
        количество_курсов = 1
    End If
    % Сформировать путь обучения
    трек_обучения.Путь = первые количество_курсов из курсы_по_навыку
    % Рассчитать суммарные метрики
    трек_обучения.ОбщаяПродолжительность = СУММА(курс.Продолжительность для
каждого курс в трек_обучения.Путь)
    трек_обучения.ОбщееСнижениеДефектов = СУММА(курс.КоэффициентСниженияДе-
фектов для каждого курс в трек_обучения.Путь)
    трек_обучения.ИтоговаяОценка = 1.0 / (1 + трек_обучения.ОбщаяПродолжительность)
    ВЕРНУТЬ трек_обучения
КОНЕЦ

```

Маршрут обучения работам по: Сварка труб диаметром 57 мм для Осип Борисов

№	ID курса	Название	Работа	Снижение дефектов	Длительность (мин)
1	100	Курс 100	Сварка труб диаметром 57 мм	0.3000	100
2	89	Курс 89	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2900	98
3	12	Курс 12	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2800	95
4	67	Курс 67	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2700	96
5	34	Курс 34	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2600	92
6	1	Курс 1	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2500	90
7	45	Курс 45	Сварка труб диаметром 57 мм	0.2400	88

Рис. 5. Результаты работы алгоритма светлячков
Fig. 5. Results of the firefly algorithm

Этап 4. Синтез рационального распределения работ между сварщиками на основе алгоритмов эволюционного моделирования. На данном этапе используется модуль распределения сварочных работ между исполнителями на основе эволюционного моделирования. Исходные данные для распределения (результаты ВИК, РК, УЗК сварных швов для каждого сварщика) поступают из модуля анализа результатов работы сварщиков.

Результаты

1. Разработан программный комплекс интеллектуальной поддержки принятия решений, обеспечивающий автоматизацию решения задач управления организацией сварочных работ на основе применения предложенной методики при управлении процессами обучения сварщиков и алгоритма распределения сварочных работ между исполнителями на основе эволюционного моделирования.

Результаты автоматического подбора

Название	Приоритет	Сложность	ID сварщика	Имя сварщика	Рейтинг	Вероятность дефекта
Задание 2	14	66	3	Демид Козлов	25	4.35%
Задание 3	97	60	2	Фёдор Беляев	47	4.65%
Задание 4	32	94	10	Виктор Федотов	25	4.35%
Задание 5	39	63	6	Павел Мартынов	42	25.00%
Задание 6	66	47	12	Станислав Мельников	42	25.00%
Задание 7	82	27	7	Егор Виноградов	57	16.28%
Задание 8	58	16	14	Николай Денисов	62	12.00%

Рис. 6. Результаты распределения работ между сварщиками на основе алгоритмов эволюционного моделирования

Fig. 6. Results of work distribution among welders based on evolutionary modeling algorithms

2. Описана реализация технологии повышения эффективности процессов управления организацией сварочных работ с помощью разработанного ПК. Реализация описанной технологии с использованием разработанного ПК отличается комплексным применением алгоритмов роевого интеллекта, эволюционного моделирования и СННС для поддержки принятия решений при управлении организацией сварочных работ.

3. Внедрение разработанного ПК при управлении обучением сварщиков в ООО «ИНВЕСТАП-МАИНД» позволило сократить время обучения сварщиков на 20...30 %, что подтверждено актом внедрения. Внедрение разработанного ПК при распределении сварочных работ между исполнителями в ООО «ИНВЕСТАП-МАИНД» позволило сократить количество дефектов сварных соединений на 20...30 %, что подтверждено актом внедрения.

Заключение

Представленный ПК и технология его применения демонстрируют высокий потенциал в повышении эффективности управления сварочными работами. Интеграция автоматизированного контроля качества, адаптивных алгоритмов обучения и интеллектуального распределения задач позволяет перейти к управлению персоналом, основанному на объективных данных и прогнозировании.

Использование алгоритмов роевого интеллекта обеспечивает персонализацию обучения сварщиков с учётом их индивидуальных характеристик и производственных результатов, что способствует целенаправленному снижению количества дефектов. Эволюционное моделирование, в свою очередь, позволяет находить рациональные варианты распределения работ, минимизируя риски и оптимизируя использование кадровых ресурсов.

Важным достижением является создание замкнутого управленческого цикла: данные о дефектах → оценка квалификации → обучение → перераспределение задач → повторная оценка. Такой подход соответствует принципам адаптивного управления и обеспечивает непрерывное улучшение качества сварочных работ.

Разработанная система поддержки принятия решений обладает высоким потенциалом для масштабирования и адаптации под различные отрасли промышленности, где критически важны качество выполнения технологических операций, квалификация персонала и эффективность распределения задач.

Список источников:

1. РД 95 10436-91 Технологическая подготовка и организация сварочного производства монтажных и строительных предприятий.
2. Заровчатская Е.В., Захарченков К.В., Подвесовский А.Г. Технология повышения эффективности управления сварочными работами на основе мягких вычислений // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2025. – № 3(29). – С. 64-72.
3. Гавриленко М.А., Заровчатская Е.В. Разработка программного обеспечения для обучения сварщиков с использованием алгоритмов роевого интеллекта // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XXIX Международной научно-технической конференции, Пенза, 15-16 августа 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 52-55.
4. Заровчатская Е.В., Мисник А.Е., Аверченков О.Е. Комплексное повышение эффективности управления обучением сварщиков на основе алгоритмов роевого интеллекта и эволюционного моделирования: Серия: Технические науки // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2024. – Т. 32, № 1(81). – С. 56-73.
5. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 446 с.
6. Заровчатская Е.В., Захарченков К.В., Подвесовский А.Г. Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении распределением сварочных работ между исполнителями // Эргоди-зайн. – 2025. – № 2 (28). – С. 117-125.
7. Заровчатская Е.В., Зотов А.Ю. Разработка программного обеспечения распределения сварочных работ на основе эволюционного моделирования // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XXIX Международной научно-технической конференции, Пенза, 15-16 августа 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 70-73.
8. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 368 с.
9. Капелько Э.А., Мисник А.Е. Обнаружение дефектов сварки на малых данных // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2024) Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Коломна, 14-17 мая 2024 года. – Смоленск: Универсум, 2024. – С. 285-292.
10. Заровчатская Е.В., Мисник А.Е. Интеллектуальное управление информационно-измерительной системой сварочного производства // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте ИММВ-2024: Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Коломна, 14-17 мая 2024 года.: № 214. – Коломна: Общероссийская общественная организация «Российская ассоциация искусственного интеллекта», 2024. – Т. 2. – С. 214-223.

References:

1. Technological Preparation and Organization of Welding Production at Mounting and Construction Enterprises. Regulative Document 95 10436-91. Group T53; 1991 May 14.
2. Zarovchatskaya E.V., Zakharchenkov K.V., Podvesovskiy A.G. Technology for Enhancing the Efficiency of Managing Welding Operations Using Soft Computing. Automation and Modelling in Design and Management. 2025;3(29):64-72.
3. Gavrilenko MA, Zarovchatskaya EV. Development of Software for Welder Training Using Swarm Intelligence Algorithms. In: Proceedings of the 29th International Scientific and Technical Conference on Information and Computational Technologies and Their Applications; 2025 Aug 15-16; Penza: Penza State Agrarian University; 2025. p. 52-55.
4. Zarovchatskaya E.V., Misnik A.E., AVerchenkov O.E. Method for Complex Increase of Welding Production Control Efficiency Based on Swarm Intelligence Algorithms and Evolutionary Modelling. Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series. 2024;321(81):56-73.
5. Karpenko A.P. Modern Search Optimization Algorithms. Algorithms Inspired by Nature. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2017.
6. Zarovchatskaya E.V., Zakharchenkov K.V., Podvesovsky A.G. Algorithm for Intelligent Decision Support in Managing Welding Work Distribution Among Executors. Ergodesign. 2025;2(28):117-125.
7. Zarovchatskaya EV, Zotov AY. Software Development for Distribution of Welding Jobs Based on Evolutionary Modelling. In: Proceedings of the 29th International Scientific and Technical Conference on Information and Computational Technologies and Their Applications; 2025 Aug 15-16; Penza: Penza State Agrarian University; 2025. p. 70-73.
8. Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kureichik V.M. Genetic Algorithms. Moscow: Fizmatlit; 2010.
9. Kapelko EA, Misnik AE. Welding Defect Detection on Small Datasets. In: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference on Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence (IMMV-2024); 2024 May 14-17; Kolomna. Smolensk: Universum; 2024. p. 285-292.
10. Zarovchatskaya EV, Misnik AE. Intelligent Management of Information-Measuring System in Welding Production. In: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference on Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence (IMMV-2024); 2024 May 14-17; Kolomna: Russian Association for Artificial Intelligence; 2024; vol. 2. p. 214-223.

11.ГОСТ Р ИСО 1763-2014 Контроль неразрушающий. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2014 г. № 1241-ст. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 21 с.

12.ГОСТ Р ИСО 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1982 г. № 4923. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 27 с.

13.ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 ноября 2013 г. № 1410-ст. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 21 с.

11. GOST R ISO 1763-2014. Non-Destructive Testing of Welds – Visual Testing of Fusion-Welded Joints. Moscow: Standartinform; 2015.

12. GOST R ISO 7512-82. Nondestructive Testing. Welded Joints. Radiography Method. Moscow: Standartinform; 2019.

13. GOST R 55724-2013. Non-Destructive Testing. Welded Joints. Ultrasonic Methods. Moscow: Standartinform; 2015.

Информация об авторах:

Заровчатская Елена Владимировна

старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение информационных технологий» Белорусско-Российского университета, Author-ID-РИНЦ 1044361, ORCID: 0000-0002-8785-6447.

Захарченков Константин Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение информационных технологий» Белорусско-Российского университета, Author-ID-РИНЦ 802712, ORCID: 0000-0001-8185-3010.

Information about the authors:

Zarovchatskaya Elena Vladimirovna

Senior Lecturer at the Department of Software Engineering of Information Technologies of Belarusian-Russian University, Author-ID-RSCI: 1044361, ORCID: 0000-0002-8785-6447.

Zakharchenkov Konstantin Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Software Engineering of Information Technologies of Belarusian-Russian University, Author-ID-RSCI: 802712, ORCID: 0000-0001-8185-3010.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 06.11.2025; одобрена после рецензирования 28.11.2025; принята к публикации 28.11.2025.

The article was submitted 06.11.2025; approved after reviewing 28.11.2025; accepted for publication 28.11.2025.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.