

Применение искусственного интеллекта в стратегическом управлении на производственном предприятии: разработка программного модуля для многокритериальной оптимизации выпуска продукции

А. В. Демьшев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. В. Целищев, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. В. Вологдин, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье представлено исследование, посвященное разработке программного модуля, оптимизирующего выпуск продукции машиностроительного предприятия с учетом максимизации прибыли. Рассматриваются два ключевых критерия: выполнение договорных обязательств и максимизация доходов от продаж. Описывается подход к решению задачи многокритериальной оптимизации с использованием генетического алгоритма, являющегося одним из методов, используемых в области искусственного интеллекта для решения сложных оптимизационных и поисковых задач.

В условиях неопределенности спроса, вызванной экономическими, социальными и политическими изменениями, предложенное решение актуально для стратегического управления предприятием. Оно способствует гибкому реагированию на рыночные изменения, снижению рисков недопроизводства или перепроизводства, а также повышению конкурентоспособности. Разработка таких инструментов имеет значительное значение для повышения эффективности планирования и управления в машиностроении.

Приводится алгоритм расчета многокритериальной задачи, реализованный на языке Java с применением библиотеки JavaFX для графического интерфейса и Apache POI для экспорта данных. Рассматривается архитектура программного прототипа, в том числе иерархия состава программы и ER – модель данных. Разработанный программный прототип предоставляет возможности ввода параметров ресурсов, объемов производства, а также выбора критериев оптимизации. Проведено опытное тестирование разработанного модуля на различных сценариях оптимизации выпуска продукции, сравнение полученных решений с результатами расчетов в MS EXCEL, подтвердившая корректность работы применяемого алгоритма.

В статье подчеркивается важность использования современных методов оптимизации и программных средств для разработки интеллектуальных информационных систем по управлению многокритериальным производственным планом выпуска продукции.

Ключевые слова: промышленное предприятие, генетический алгоритм, план производства, многокритериальная оптимизация, складские запасы, ресурсы, стратегическое управление.

Введение

Эффективная работа промышленных предприятий в нынешней экономической ситуации во многом определяется качеством настройки рабочих процессов. Особое внимание следует уделять организации производственного планирования, где важно грамотно распоряжаться доступными активами, избегать простоя техники и чрезмерного складского накопления. В условиях нестабильности рынка и напряженной конкурентной борьбы компании должны поддерживать бесперебойную работу оборудования и контролировать затраты на операционную деятельность для достижения экономических целей и соответствия ожиданиям заказчиков [1, 2].

На многих предприятиях машиностроительной отрасли текущая практика формирования планов и выпуска изделий основана на ручном труде, что приводит к существенным

временным потерям и требует больших трудовых усилий. Такая методика устарела и может негативно влиять на показатели эффективности. Прогрессивные компании отрасли все чаще прибегают к компьютеризированным системам управления, что позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и повысить стабильность производственных операций [3, 4].

Использование программных решений для управления производством становится критически важным для исключения ошибок операторского характера. Даже опытные сотрудники иногда допускают просчеты, тогда как автоматические системы практически полностью исключают вероятность подобных недочетов [5, 6].

Поэтому переход на автоматизированные системы управления производственными процессами в машиностроительной отрасли пред-

ставляется крайне необходимым в современных экономических условиях [7, 8].

Постановка задачи

Целью работы является разработка программного приложения, позволяющего производить оптимальное планирование производственного плана для машиностроительного предприятия, опираясь на конкретный набор входных данных, указываемых пользователем.

В контексте данной работы для машиностроительного предприятия первоочередной задачей является выполнение как можно большего количества договоров на изготовление и поставку продукции. Выразить данный критерий можно в виде следующей формулы:

$$K_1 = \max \sum_{t=1}^{tm} \sum_{j=1}^m s_{j(t)} \text{treaty}_{j(t)}. \quad (1)$$

В данном случае $s_{j(t)}$ будет объемом реализации j -го вида продукции, $\text{treaty}_{j(t)}$ – признаком наличия заключенного договора по j -му виду продукции (в случае если существует договор на данную позицию $\text{treaty}_{j(t)} = 1$), t – номер временного интервала планирования, tm обозначает период времени, на который осуществляется планирование, m – количество видов производимой предприятием продукции.

Помимо выполнения максимально возможного количества договоров, для предприятия также важно соблюдение еще одно критерия, присущего всем коммерческим предприятиям, – максимизация прибыли; он выражается следующим образом:

$$K_2 = \max \sum_{t=1}^{tm} \sum_{j=1}^m s_{j(t)} p_{j(t)}, \quad (2)$$

где $p_{j(t)}$ – прибыль с продажи единицы продукции j -го вида.

Кроме двух основных критериев, также, очевидно, есть различные ограничения, которые необходимо соблюдать для проведения корректного расчета. Одним из таких является факт того, что склад не может вмещать большее количество продукции, чем то, на которое он рассчитан, следовательно, необходимо учесть, что суммарный остаток всех видов продукции на складе к концу планируемого периода не должен превышать его максимальную вместимость:

$$w_{t-1}^{\text{sum}} + \sum_{j=1}^m x_{j(t)} - \sum_{j=1}^m s_{j(t)} \leq w_{\text{max}}, \forall t \in 1, \dots, tm, \quad (3)$$

где $x_{j(t)}$ – объем производства j -го вида продукции; w_{t-1}^{sum} – суммарный остаток продукции на складе на начало прогнозируемого периода t ; w_{max} – максимальная вместимость склада предприятия.

Также, очевидно, остаток продукции не может принимать отрицательные значения:

$$w_{j(t-1)} + \sum_{j=1}^m x_{j(t)} - \sum_{j=1}^m s_{j(t)} \geq 0, \forall t \in 1, \dots, tm, \quad (4)$$

где $w_{j(t-1)}$ обозначает количество j -го вида продукции, хранимой на складе на начало прогнозируемого периода t .

В интересах предприятия полностью удовлетворять спрос на конкретный вид продукции, чтобы получать максимальное количество прибыли:

$$s_{j(t)}^{\text{prior}} = s_{j(t)}^{\text{max}}, \forall t \in 1, \dots, tm. \quad (5)$$

Также требуется реализовать планирование последовательного использования комплектующих: потребление комплектующих одного типа в рамках последующих производственных процессов.

$$z_{i(t-1)} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij(t)} x_{j(t)} \geq z_{i(t)}, \forall t \in 1, \dots, tm, \quad (6)$$

где n – количество типов комплектующих; $a_{ij(t)}$ – норма расхода i -го типа комплектующей для производства j -го вида продукции; $z_{i(t)}$ – имеющееся количество комплектующих i -го типа.

В общем случае оперативное планирование являются многокритериальной и нелинейной задачей оптимизации построения производственного плана.

Для решения оптимизационной задачи (1)–(6) используется на практике два основных подхода. В первом подходе исходная задача сводится к комбинации задач линейного программирования, во втором – решение задачи осуществляется генетическим алгоритмом и его модификациями.

Включение в программный расчет первого критерия предоставит конечному пользователю большую гибкость в работе с приложением путем введения дополнительного инструмента планирования производства, однако далее в данной работе будет рассмотрена упрощенная программа, производящая расчет лишь по второму критерию.

Программная реализация

Для создания системы управления производственным планированием, минимизирующей простой оборудования и избыточные складские запасы с учетом целевых функций и установленных ограничений, применялся объектно-ориентированный язык программирования Java в среде разработки IntelliJ IDEA. Этот инструмент обеспечивает удобство редактирования и исполнения кода.

В рамках проекта использовалась версия Java 17 LTS (Long-TermSupport), что гарантирует длительную поддержку, включающую устранение уязвимостей и обновления безопасности, что особенно актуально для крупных корпоративных проектов. LTS-версии обеспечивают стабильность, снижая риски, связанные с обновлением, что делает их предпочтительными для промышленного использования [9].

Для управления зависимостями и упрощения сборки системы применялся проектный сборщик Maven, который автоматизирует интеграцию библиотек, минимизируя вероятность ошибок. Ключевым файлом Maven является «pom.xml», в котором описывается структура проекта, используемые зависимости, производится описание автоматизации рутинных задач проекта [10, 11]. Фрагмент «pom.xml», описывающий используемые зависимости, представлен на рис. 1.

```
<dependencies>
  <dependency>
    <groupId>org.openjfx</groupId>
    <artifactId>javafx-controls</artifactId>
    <version>${javafx.version}</version>
  </dependency>
  <dependency>
    <groupId>org.openjfx</groupId>
    <artifactId>javafx-fxml</artifactId>
    <version>${javafx.version}</version>
  </dependency>
  <dependency>
    <groupId>org.junit.jupiter</groupId>
    <artifactId>junit-jupiter-api</artifactId>
    <version>${junit.version}</version>
    <scope>test</scope>
  </dependency>
  <dependency>
    <groupId>org.junit.jupiter</groupId>
    <artifactId>junit-jupiter-engine</artifactId>
    <version>${junit.version}</version>
    <scope>test</scope>
  </dependency>
  <dependency>
    <groupId>org.apache.poi</groupId>
    <artifactId>poi-ooxml</artifactId>
    <version>5.3.0</version>
  </dependency>
  <dependency>
    <groupId>io.jenetics</groupId>
    <artifactId>jenetics</artifactId>
    <version>6.3.0</version>
  </dependency>
</dependencies>
```

Рис. 1. Используемые зависимости

Fig. 1. Used dependencies

Пользовательский интерфейс реализован с использованием JavaFX – платформы для создания приложений с богатым графическим

функционалом, применимого как для настольных, так и для мобильных решений [12].

Оптимизационная модель системы базируется на генетическом алгоритме, реализованном с использованием библиотеки Jenetics. Это позволяет гибко конфигурировать параметры эволюции (например, типы мутаций и отбора) и работать с различными типами генов [13–15].

Входными данными программного прототипа являются сведения о товарной номенклатуре предприятия (количество разновидностей ресурсов и товаров, представленных в производственном процессе, их наличие на складе, производственные ограничения и пр.), период планирования, а также объем товарного склада.

Исходные данные для планирования могут как вводиться пользователем вручную, так и предоставляться на вход в формате таблиц Excel с расширениями .xls и .xlsx; данный механизм реализован с помощью программной библиотеки ApachePOI, позволяющей взаимодействовать с документами пакета MS Office через сторонние программные средства (в данном случае через программный прототип) [16].

В свою очередь в качестве результата программный модуль предоставляет пользователю сведения о найденных оптимальных решениях по обоим критериям (количество того или иного товара, которое необходимо произвести для достижения результата, потенциальная прибыль, сведения о временных затратах на производство).

Данные, получаемые на выходе, реализованы похожим образом: по окончании расчета пользователю будет представлено всплывающее окно с информацией о результатах расчета оптимального производственного плана. Данные, представленные на всплывающем окне, также можно сохранить в табличном формате Excel.

Таким образом, интеграция программного решения с ApachePOI позволяет значительно упростить взаимодействие пользователя с программным продуктом за счет оптимизации рутинных задач по вводу табличных данных.

Программный продукт распространяется в виде установочного пакета (.exe или .msi), сформированного с помощью инструмента jpackage. Это позволяет включить все необходимые зависимости, включая Java Runtime Environment, обеспечивая простоту установки и запуска системы на платформе Windows [17, 18]. Описанная в Maven задача реализации установочного пакета с помощью jpackage представлена на рис. 2.

```
<plugin>
  <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
  <artifactId>maven-shade-plugin</artifactId>
  <version>3.2.4</version>
  <executions>
    <execution>
      <phase>package</phase>
      <goals>
        <goal>shade</goal>
      </goals>
      <configuration>
        <transformers>
          <transformer implementation="org.apache.maven.plugins.shade.resource.ManifestResourceTransformer">
            <mainClass>com.example.demo4.Main</mainClass>
          </transformer>
        </transformers>
      </configuration>
    </execution>
  </executions>
</plugin>
```

Рис. 2. Выполнение jpackage через Maven
Fig. 2. Executing jpackage via Maven

Иерархию состава программного прототипа можно представить в виде следующей схемы (рис. 3).

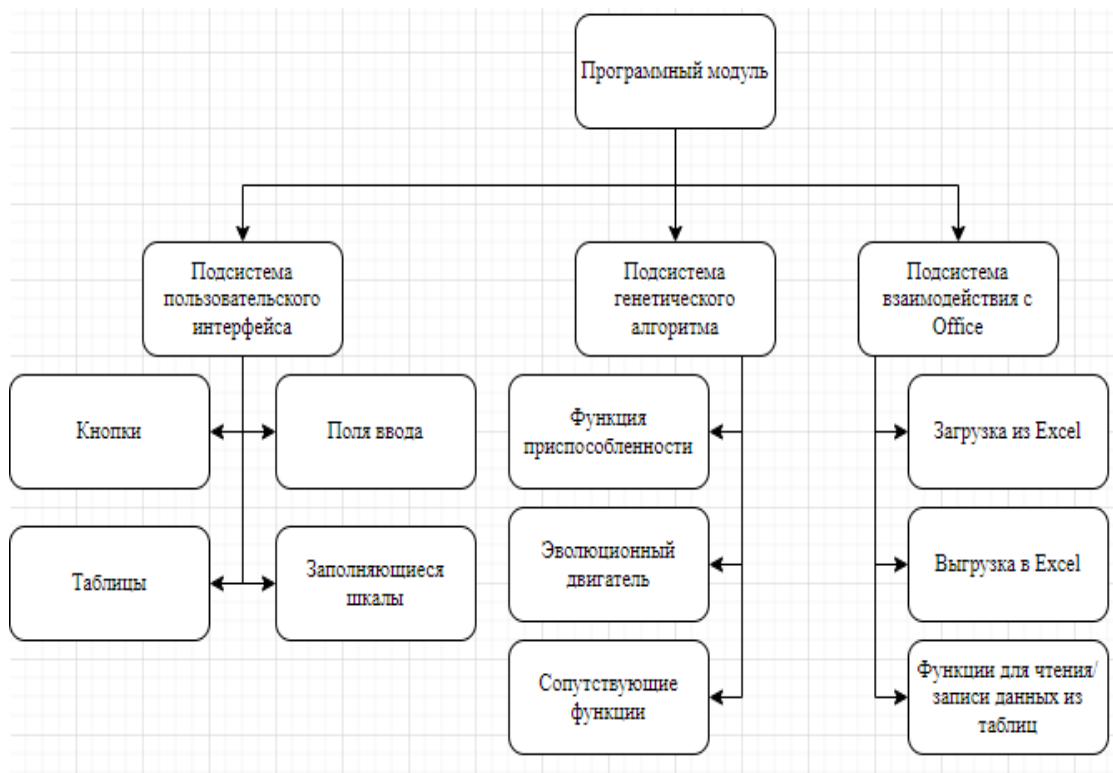


Рис. 3. Иерархия состава программного прототипа
Fig. 3. Hierarchy of the composition of a software prototype

Также для поставленной задачи была разработана ER-диаграмма, представленная на рис. 4.

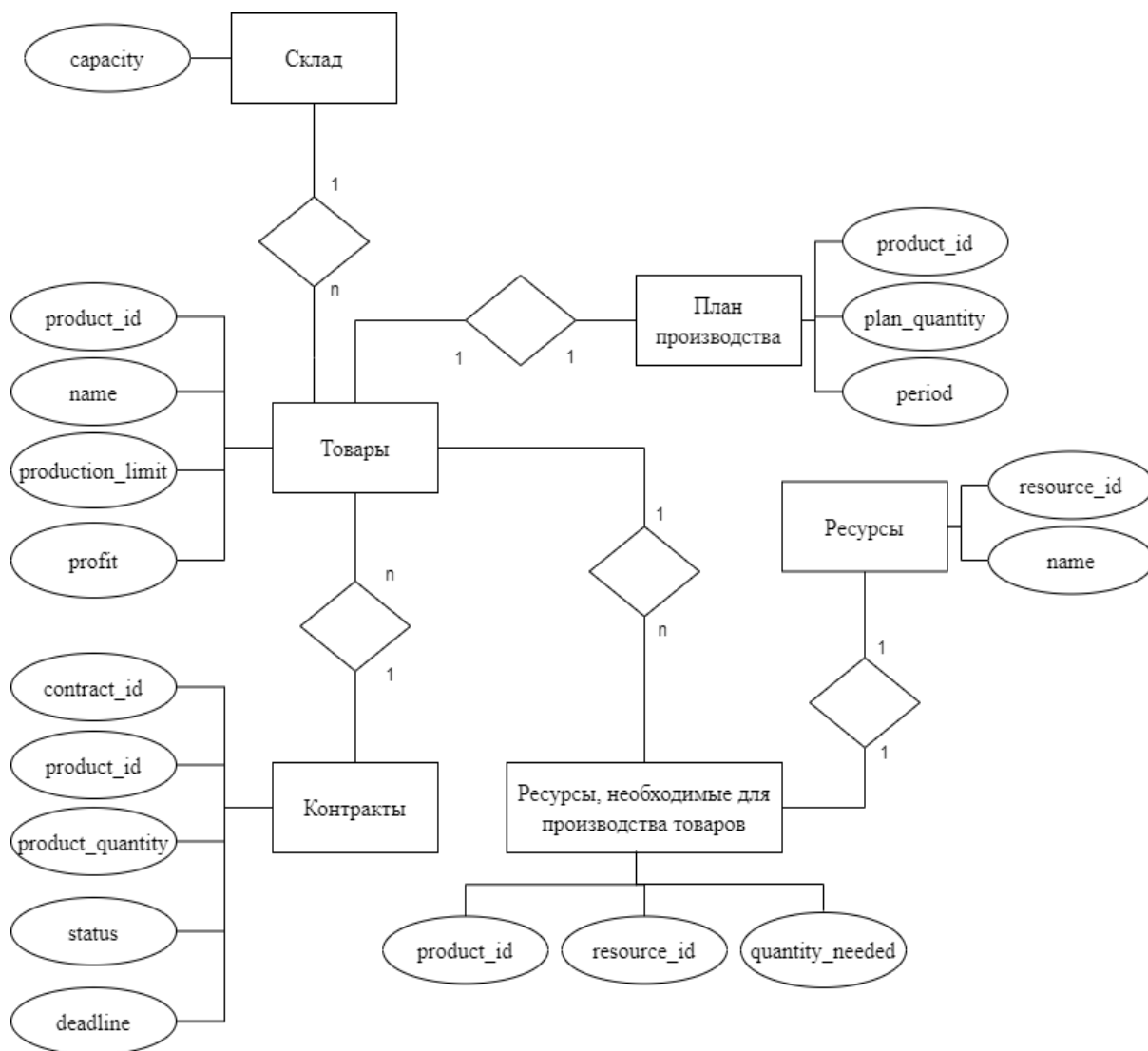


Рис. 4. ER-диаграмма

Fig. 4. ER-diagram

Результаты

Ключевой особенностью использования генетического алгоритма для решения задач оптимального планирования является способность алгоритма эффективно решать задачи больших размерностей [19, 20].

Таким образом, стоит рассмотреть эффективность решений разработанной информационной системы на практике. Пусть предприятие производит 15 видов товаров из 6 типов ресурсов, период планирования составляет 6 месяцев, а график функционирования предприятия представляет собой пятидневную рабочую неделю в две смены (16 часов в день). Процесс ввода исходных данных представлен на рис. 5.

The screenshot shows a window titled "Планирование выпуска" with the following input fields and values:

- Кол-во видов товаров: 15
- Кол-во видов ресурсов: 6
- Кол-во месяцев: 6
- Вместимость склада, м³: 4500

A "Далее" (Next) button is located at the bottom right of the input area.

Рис. 5. Ввод исходных данных

Fig. 5. Input of initial data

Исходные данные с ограничениями на товары и ресурсы представлены на рис. 6, 7.

| | Товар 1 | Товар 2 | Товар 3 | Товар 4 | Товар 5 | Товар 6 | Товар 7 | Товар 8 | Товар 9 | Товар 10 | Товар 11 | Товар 12 | Товар 13 | Товар 14 | Товар 15 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Объем ед. товара, м³ | 1,20 | 1,70 | 2,30 | 2,00 | 1,50 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 3,20 | 2,20 | 2,00 | 1,90 | 1,80 | 3,60 | 4,00 |
| Минимальный выпуск | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Прибыль с единицы товара | 300 | 500 | 550 | 400 | 250 | 280 | 450 | 890 | 335 | 295 | 330 | 380 | 390 | 550 | 600 |
| Максимальный выпуск | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Количество товаров, выпускаемых параллельно | 8 | 3 | 3 | 4 | 6 | 6 | 4 | 1 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| Контрактные заказы | 11 | 6 | 4 | 7 | 13 | 7 | 7 | 4 | 8 | 6 | 10 | 12 | 13 | 6 | 9 |
| Время на производство | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 8 | 8 | 12 | 8 | 5 | 3 | 3 | 3 | 7 | 8 |
| Время на обслуживание | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 8 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |

Рис. 6. Ограничения товаров

Fig. 6. Product restrictions

| | Товар 1 | Товар 2 | Товар 3 | Товар 4 | Товар 5 | Товар 6 | Товар 7 | Товар 8 | Товар 9 | Товар 10 | Товар 11 | Товар 12 | Товар 13 | Товар 14 | Товар 15 | Кол-во ресурса в наличии |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|
| Ресурс 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1000 |
| Ресурс 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1200 |
| Ресурс 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1500 |
| Ресурс 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 3 | 0 | 950 |
| Ресурс 5 | 3 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1000 |
| Ресурс 6 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 880 |

Рис. 7. Ограничения ресурсов

Fig. 7. Resource restrictions

Результат ввода табличных данных о товарах и ресурсах, а также о формате функ-

ционирования предприятия изображены на рис. 8.

Планирование выпуска

5 дней 16 часов

| Товары: | Товар 1 | Товар 2 | Товар 3 | Товар 4 | Товар 5 | Товар 6 | Товар 7 | Товар 8 | Товар 9 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Объем ед. товара | 1.2 | 1.7 | 2.3 | 2.0 | 1.5 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 3.2 |
| Минимальный план | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Прибыль с единицы | 300.0 | 500.0 | 550.0 | 400.0 | 250.0 | 280.0 | 450.0 | 890.0 | 335.0 |
| Произв. ограничения | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
| Параллельное производство, шт. | 8.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | 4.0 | 1.0 | 5.0 |

| Ресурсы: | Товар 1 | Товар 2 | Товар 3 | Товар 4 | Товар 5 | Товар 6 | Товар 7 | Товар 8 | Товар 9 | Товар 10 | Товар 11 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Ресурс 1 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 |
| Ресурс 2 | 2.0 | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 |
| Ресурс 3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 3.0 |
| Ресурс 4 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| Ресурс 5 | 3.0 | 3.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 |

Рассчитать

Рис. 8. Ввод табличных данных

Fig. 8. Input of table data

Результаты расчетов представляются в виде набора данных, содержащих оптимальное количество производимой продукции по номенклатуре изделий, значение прибыли, количество

использованного времени в периоде планирования, а также время, за которое был проведен расчет (см. рис. 9).

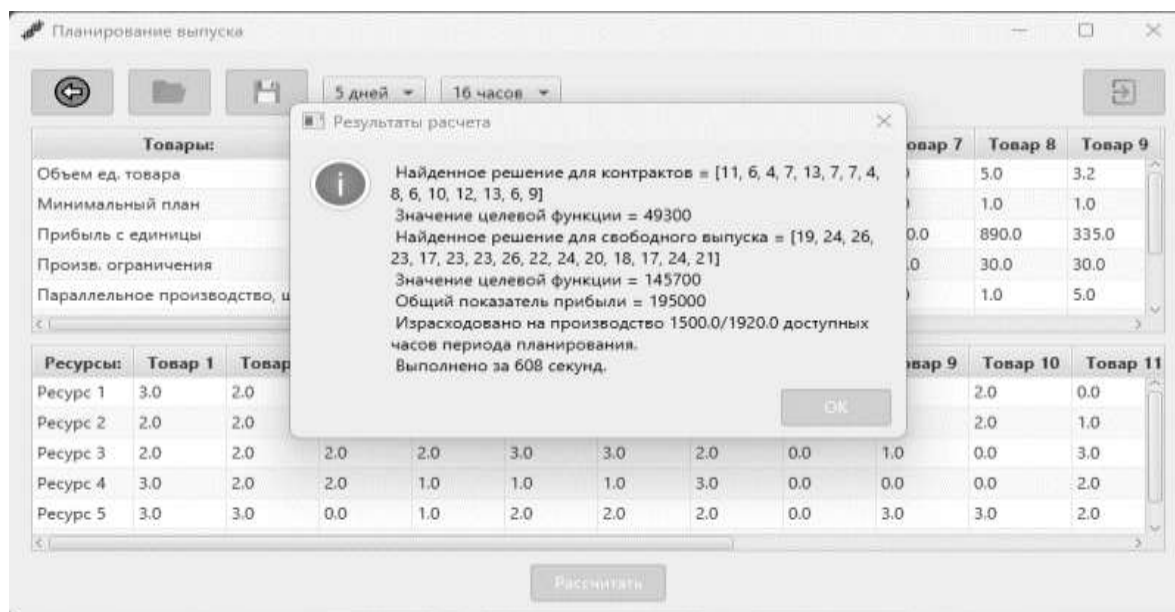


Рис. 9. Результат расчета

Fig. 9. Calculation result

Для проверки работоспособности созданного программного решения были проведены тесты, в ходе которых его результаты сравнивались с данными, полученными при решении аналогичной задачи в MS Excel с использованием инструмента «Поиск решений». Этот инструмент предлагает три различных подхода к оптимизации: метод ОПП, симплекс-метод и эволюционный алгоритм.

При сравнении работы разработанного прототипа с расчетами, выполненными в Excel с применением эволюционного метода, было установлено, что программный прототип демонстрирует более высокую эффективность. В частности, он обеспечивает не только точность, но и способность находить оптимальные решения, превосходящие возможности Excel в рамках рассматриваемой задачи. Более того, использование эволюционного алгоритма в Excel оказалось недостаточно надежным, так как он не смог корректно определить оптимальный план. Это подтверждает преимущество реализованного в прототипе подхода.

Другие два метода, доступные в инструменте «Поиск решений», показали результаты, близкие к тем, которые были получены с помощью разработанного прототипа. Однако при увеличении сложности задачи качество решений в Excel начинает снижаться, тогда как прототип сохраняет стабильность и точность вычислений.

Анализ данных показал, что решения, полученные с помощью программного прототипа и Excel, имеют схожую структуру. Тем не менее

прототип обеспечил более высокий уровень прибыли, что свидетельствует о его эффективности в решении задач оптимизации эволюционным методом. Разработанный программный прототип успешно находит глобальный оптимум, избегая проблем, связанных с попаданием в локальные экстремумы.

Заключение

В результате работы был создан прототип программного модуля для оптимизации производственного плана машиностроительного предприятия. Применение генетического алгоритма обеспечило гибкость в расчетах, учет разнообразных ограничений, включая доступность ресурсов и специфический график работы предприятия. Данный подход продемонстрировал преимущества перед методами линейаризации при решении многомерных задач поиска глобального экстремума.

Тестовые расчеты подтвердили способность алгоритма находить оптимальные решения для задач производственного планирования с минимизацией простоя оборудования и избыточных складских запасов. Сравнение с расчетами в MS Excel показало, что разработанное приложение обеспечивает не только сопоставимые результаты, но и более эффективные решения для задач повышенной сложности.

Практическое использование данной системы позволит предприятиям снизить производственные издержки, повысить эффективность использования ресурсов и бизнес-процессов, а также быстро адаптироваться к изменениям рыночных условий в условиях неопределенности спроса.

Библиографические ссылки

1. Deng W. An improved differential evolution algorithm and its application in optimization problem // *Soft Computing*. 2021. T. 25. C. 5277-5298.
2. Ma H. A multi-stage evolutionary algorithm for multi-objective optimization with complex constraints // *Information Sciences*. 2021. T. 560. C. 68-91.
3. Maschler B., Weyrich M. Deep transfer learning for industrial automation: A review and discussion of new techniques for data-driven machine learning // *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2021. T. 15., №. 2. C. 65-75.
4. Luo T. An improved levy chaotic particle swarm optimization algorithm for energy-efficient cluster routing scheme in industrial wireless sensor networks // *Expert Systems with Applications*. 2024. T. 241. C. 122780.
5. Khakifirooz M. Scheduling in Industrial environment toward future: insights from Jean-Marie Proth // *International Journal of Production Research*. 2024. T. 62., №. 1-2. C. 291-317.
6. Karumban S. Industrial automation and its impact on manufacturing industries // *Revolutionizing Industrial Automation Through the Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things*. 2023. C. 24-40.
7. Haleem A. Hyperautomation for the enhancement of automation in industries // *Sensors International*. 2021. T. 2. C. 100124.
8. Olurin J. O. et al. Strategic HR management in the manufacturing industry: balancing automation and workforce development // *International Journal of Research and Scientific Innovation*. 2024. T. 10., №. 12. C. 380-401.
9. Brown N. C. C. Novice use of the Java programming language // *ACM Transactions on Computing Education*. 2022. T. 23., №. 1. C. 1-24.
10. Paramitha R. Cross-ecosystem categorization: A manual-curation protocol for the categorization of Java Maven libraries along Python PyPI Topics // *arXiv preprint arXiv:2403.06300*. 2024.
11. Zampetti F. et al. CI/CD pipelines evolution and restructuring: A qualitative and quantitative study // 2021 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME). 2021. C. 471-482.
12. Flatscher R. G., Müller G. Employing Portable JavaFX GUIs with Scripting Languages // *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*. 2021. C. 333-341.
13. Alhijawi B., Awajan A. Genetic algorithms: Theory, genetic operators, solutions, and applications // *Evolutionary Intelligence*. 2024. T. 17., №. 3. C. 1245-1256.
14. Anwaar A. Genetic algorithms: Brief review on genetic algorithms for global optimization problems // 2022 Human-Centered Cognitive Systems (HCCS). 2022. C. 1-6.
15. Khatri K. A. Genetic algorithm based techno-economic optimization of an isolated hybrid energy system // *CRF*. 2023. T. 8., №. 4. C. 1447-1450.
16. Тымкив А. И., Федоренко А. В., Худасова О. Г. Обзор средств и возможностей API библиотеки ApachePOI // *Информационные технологии как ос-*

нова эффективного инновационного развития. 2022. С. 70–73.

17. Biradar V. S. Intelligent Control Systems for Industrial Automation and Robotics // 2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON). 2023. T. 10. C. 1238-1243.
18. Zhang Y. Towards a serverless java runtime // 2021 36th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE). 2021. C. 1156-1160.
19. Hao X. The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? // *Journal of environmental management*. 2023. T. 325. C. 116504.
20. Liu H. NeuroCrossover: An intelligent genetic locus selection scheme for genetic algorithm using reinforcement learning // *Applied Soft Computing*. 2023. T. 146. C. 110680.

References

1. Deng W. An improved differential evolution algorithm and its application in optimization problem. *Soft Computing*, 2021, vol. 25, pp. 5277-5298.
2. Ma H. A multi-stage evolutionary algorithm for multi-objective optimization with complex constraints. *Information Sciences*, 2021, vol. 560, pp. 68-91.
3. Maschler B., Weyrich M. Deep transfer learning for industrial automation: A review and discussion of new techniques for data-driven machine learning. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2021, vol. 15, no. 2, pp. 65-75.
4. Luo T. An improved levy chaotic particle swarm optimization algorithm for energy-efficient cluster routing scheme in industrial wireless sensor networks. *Expert Systems with Applications*, 2024, vol. 241, pp. 122780.
5. Khakifirooz M. Scheduling in Industrial environment toward future: insights from Jean-Marie Proth. *International Journal of Production Research*, 2024, vol. 62, no. 1-2, pp. 291-317.
6. Karumban S. Industrial automation and its impact on manufacturing industries. *Revolutionizing Industrial Automation Through the Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things*, 2023, pp. 24-40.
7. Haleem A. Hyperautomation for the enhancement of automation in industries. *Sensors International*, 2021, vol. 2, pp. 100124.
8. Olurin J. O., et al. Strategic HR management in the manufacturing industry: balancing automation and workforce development. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 2024, vol. 10, no. 12, pp. 380-401.
9. Brown N. C. C. [Novice use of the Java programming language]. *ACM Transactions on Computing Education*, 2022, vol. 23, no. 1, pp. 1-24.
10. Paramitha R. [Cross-ecosystem categorization: A manual-curation protocol for the categorization of Java Maven libraries along Python PyPI Topics]. *arXiv preprint arXiv:2403.06300*, 2024.
11. Zampetti F., et al. CI/CD pipelines evolution and restructuring: A qualitative and quantitative study. 2021

IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), 2021, pp. 471-482.

12. Flatscher R. G., Müller G. Employing Portable JavaFX GUIs with Scripting Languages. Central European Conference on Information and Intelligent Systems, 2021, pp. 333-341.

13. Alhijawi B., Awajan A. Genetic algorithms: Theory, genetic operators, solutions, and applications. *Evolutionary Intelligence*, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 1245-1256.

14. Anwaar A. Genetic algorithms: Brief review on genetic algorithms for global optimization problems. *2022 Human-Centered Cognitive Systems (HCCS)*, 2022, pp. 1-6.

15. Khatri K. A. Genetic algorithm based technoeconomic optimization of an isolated hybrid energy system. *CRF*, 2023, vol. 8, no. 4, pp. 1447-1450.

16. Tymkiv A. I., Fedorenko A. V., Hudanova O. G. [Overview of tools and capabilities of the Apache POI

API]. *Information Technologies as the Basis of Effective Innovative Development*, 2022, pp. 70-73 (in Russ.).

17. Biradar V. S. Intelligent Control Systems for Industrial Automation and Robotics. *2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 2023, vol. 10, pp. 1238-1243.

18. Zhang Y. Towards a serverless java runtime. *2021 36th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE)*, 2021, pp. 1156-1160.

19. Hao X. The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 325, pp. 116504.

20. Liu H. Neuro Crossover: An intelligent genetic locus selection scheme for genetic algorithm using reinforcement learning. *Applied Soft Computing*, 2023, vol. 146, pp. 110680.

* * *

Application of Artificial Intelligence in Strategic Management at a Manufacturing Enterprise: Development of a Software Module for Multi-Criteria Optimization of Product Output

A.V. Demyshev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

D.V. Tselishev, Master's student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

S.V. Vologdin, DSc. in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The article presents a study devoted to the development of a software module that optimizes the output of a mechanical engineering enterprise taking into account profit maximization. Two key criteria are considered: fulfillment of contractual obligations and maximization of sales revenue. An approach to solving a multi-criteria optimization problem using a genetic algorithm, which is one of the methods used in the field of artificial intelligence to solve complex optimization and search problems, is described.

In the context of demand uncertainty caused by economic, social and political changes, the proposed solution is relevant for strategic management of the enterprise. It promotes flexible response to market changes, reduces the risks of underproduction or overproduction, and increases competitiveness. The development of such tools is of great importance for improving the efficiency of planning and management in mechanical engineering.

An algorithm for calculating a multi-criteria problem is presented, implemented in the Java language, using the JavaFX library for the graphical interface and Apache POI for data export. The architecture of the software prototype is considered, incl. hierarchy of the program composition and ER - data model. The developed software prototype provides the ability to enter resource parameters, production volumes, and select optimization criteria. Experimental testing of the developed module was carried out on various scenarios for optimizing output, comparing the obtained solutions with the results of calculations in MS EXCEL, which confirmed the correctness of the algorithm used. The article emphasizes the importance of using modern optimization methods and software for developing intelligent information systems for managing a multi-criteria production plan for output.

Keywords: industrial enterprise; genetic algorithm; production plan; multi-criteria optimization; warehouse stocks; resources; strategic management.

Получено: 15.07.25

Образец цитирования

Демьшев А. В., Целищев Д. В. Применение искусственного интеллекта в стратегическом управлении на производственном предприятии: разработка программного модуля для многокритериальной оптимизации выпуска продукции // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 3. С. 33-41. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-3-33-41.

For Citation

Demyshev A.V., Tselishev D.V., Vologdin S.V. [Application of artificial intelligence in strategic management at a manufacturing enterprise: development of a software module for multi-criteria optimization of product output]. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*. 2025, vol. 23, no. 3, pp. 33-41. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-3-33-41.