

# ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Зенькович М.В., Дреус Ю.Г., Иноземцева В.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

mvz04@yandex.ru

*Аннотация.* Рассматриваются методы и средства поддержки принятия решений по реорганизации промышленных производств, в рамках крупномасштабных промышленных корпораций и холдингов. В качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений предлагается специализированная система поддержки принятия решений (СППР). Рассматриваются примеры математических моделей некоторых частных задач реорганизации промышленных производств.

*Ключевые слова:* поддержка принятия решений, системы поддержки принятия решений, СППР, модельно-ориентированные СППР, СППР ориентированные на исторические данные, СППР ориентированные на документы, СППР ориентированные на знания, СППР ориентированные на коммуникации, реорганизация промышленных производств, стратегический уровень управления, эффективность землепользования, техническое перевооружение, системная динамика, математическое моделирование.

## Введение

Повышение эффективности стратегического управления промышленными производствами, в рамках крупномасштабных промышленных корпораций и холдингов, относится к классу наиболее сложных и актуальных задач стратегического менеджмента. Данный факт обуславливается следующими особенностями: при принятии решений необходимо учитывать достаточно большое число гетерогенных факторов, часто имеющих нестационарный и вероятностный характер; наличием элементов прогнозирования; неполнотой информации об объектах исследования и т.д. В таких условиях необходимо предоставить эффективные, комплексные методы и средства поддержки принятия решений по управлению промышленными производствами и предприятиями в рамках крупномасштабных промышленных корпораций и холдингов. В качестве примера такого комплексного решения может выступать специализированная проблемно-ориентированная система поддержки принятия решений (СППР), интегрированная в итерационную структуру процедур принятия решений по реорганизации промышленных производств и тесно взаимодействующая с лицами, принимающими решения (ЛПР), задействованными в рассматриваемых процедурах. В качестве ЛПР, на различных этапах процедур принятия решений может выступать, как управленческий персонал корпораций и холдингов, так и привлеченные эксперты из различных областей, ввиду сложности многообразия рассматриваемых задач, целесообразно применять методики позволяющие прибегать к принятию коллективных (групповых) решений.

С точки зрения руководства крупномасштабных корпораций и холдингов предприятия, входящие в состав крупномасштабных организационных структур такого рода, могут быть отнесены к одной из следующих категорий: нормально функционирующие предприятия и предприятия подлежащие реорганизации (реформированию или продаже (ликвидации)). Под «реформированием» предприятия понимается сочетание в различных комбинациях модернизации, перебазирувания и перепрофилирования [1]. Под «модернизацией» понимается реконструкция и/или техническое перевооружение предприятия. Под «перебазируванием» предприятия понимается прекращение его деятельности на ранее выделенном участке территории и возобновление той же или аналогичной деятельности на новой территории. Перебазируемому предприятию, как правило, предоставляется аналогичная по площади территория и/или имущественный комплекс для размещения и возобновления хозяйственной деятельности. Под «перепрофилированием» понимается изменение вида деятельности предприятия. Перепрофилирование сопровождается, как правило, реконструкцией и/или техническим перевооружением предприятия. В качестве частного, вырожденного случая перепрофилирования можно рассматривать продажу (ликвидацию) предприятия. При реорганизации предприятий также возможны различные изменения организационно-структурного характера. Перебазирование является наиболее сложной процедурой реорганизации, поэтому ее целесообразно выделить в отдельную категорию рассмотрения.

Решение о включении предприятия в перечень предприятий, подлежащих реорганизации принимается руководством корпорации или холдинга, в соответствии с положениями нормативно-методической документации, по рекомендации специальной экспертной комиссии. Можно выделить следующие основные факторы, которые должны учитываться при составлении перечня:

экономическое состояние предприятия; стратегические интересы развития корпорации или холдинга; соответствие профиля предприятия общей политике корпорации (холдинга); эффективность землепользования; экологическое состояние предприятия. Основанием для включения предприятия в перечень предприятий, подлежащих реорганизации, служат: неудовлетворительное в течение длительного времени финансово-экономическое положение предприятия, неэффективность использования территории при ее высокой потенциальной ценности, непрофильный характер деятельности предприятия, значительный экологический вред, наносимый промышленным производством окружающей среде, включая и накопленный ущерб и пр. [2, 3]. Упомянутые факторы, в большинстве, имеют качественный характер, что порождает существенную субъективность при их оценке. В таких случаях часто прибегают к экспертному оцениванию и к принятию коллективных решений. В качестве исходных данных для экспертов служат паспорта предприятий и некоторая дополнительная информация. Паспорт предприятия должен включать следующие разделы: общие сведения; основные технико-экономические показатели деятельности предприятия; показатели оценки эффективности использования территории; финансовые показатели; экологическая характеристика. В качестве дополнительной информации привлекаются следующие данные: номенклатура выпускаемой продукции, ее технический уровень, потребительский спрос, конкурентоспособность; производственные мощности; виды и характер технологических процессов; уровень себестоимости продукции; уровень заработных плат; экономические показатели; финансовое состояние; воздействие на окружающую среду. Отнесение производства к одной из категорий (реформируемых, перебазируемых или продаваемых (ликвидируемых)) означает присвоение ему соответствующего статуса: ST0 – «продолжает функционировать без изменений»; ST1 – «подлежит реформированию»; ST2 – «подлежит перебазированию»; ST3 – «подлежит продаже или ликвидации» [4]. Возможны следующие варианты размещения перебазируемого предприятия: 1) размещение за счет уплотнения входящих в корпорацию (холдинг) действующих промышленных производств; 2) размещение производства на свободной территории. Финансирование процессов реформирования и перебазирования может осуществляться как за счет средств корпорации (холдинга), так и за счет средств внешних инвесторов. В инвестиционном процессе предпроектная подготовка реформирования и перебазирования промышленных производств включает, в т.ч. следующие этапы: оптимизация производственных мощностей рассматриваемого предприятия; уточнение номенклатуры и объемов выпуска продукции рассматриваемого предприятия с учетом сложившихся и прогнозируемых рынков сбыта продукции; подбор свободных земельных участков и/или предприятий среди аналогичных или близких по профилю производства с незагруженными мощностями и/или с неэффективно используемыми производственными площадями (если рассматривается возможность перебазирования); выбор оптимального варианта размещения с учетом технических возможностей, экономической целесообразности, наличия трудовых ресурсов, транспортных коммуникаций, инженерного обеспечения и пр. (если рассматривается возможность перебазирования). При обосновании инвестиций рекомендуется учитывать следующие показатели: общую характеристику предприятия; производственные мощности и номенклатуру продукции; основные технологические решения; обеспечение рассматриваемого производства ресурсами; место размещения; кадры и социальное развитие; основные строительные решения.

Принятие решений о целесообразности привлечения инвестиций или других форм финансирования перебазирования или реформирования следует после оценки эффективности этих операций. При этом учитываются: оценка стоимости реформирования или перебазирования по аналогам и укрупненным показателям, на основе результатов прогнозирования и экспертного оценивания; возможные источники и условия финансирования и инвестиций; себестоимость основных видов продукции; прогнозы изменений основных показателей и цен; тенденции изменения рентабельности; оценка риска инвестиций; минимизация потерь при перебазировании; возможности совершенствования проектных решений, оптимизации и рационализации использования ресурсов. При выполнении расчетных процедур предварительно проводится выбор расчетного периода (время проектирования, строительства, перебазирования, технического перевооружения, освоения проектной мощности, эксплуатации и пр.).

Следует отметить, что реализация процедур реорганизации связана с решением целого комплекса проблем:

- для обоснованного принятия решений требуется учитывать большое число факторов различной природы (экономические, технические, экологические и пр.), прогнозируя развитие возможных сценариев в зависимости от принятых решений. В условиях неопределенности и риска это возможно осуществить в т.ч. при помощи методов имитационного моделирования. Разработка и

применение имитационных моделей данного класса представляет собой самостоятельную проблему. В работах [5–8, 12] рассмотрены некоторые особенности разработки и применения дискретно-событийных имитационных моделей производственных систем (машиностроение) для решения задач поддержки принятия решений на стадиях проектирования и модернизации. Решение аналогичных задач посредством применения мультиагентных моделей рассмотрено в [9–11]. Применение системной динамики, для поддержки принятия решений в контексте повышения эффективности землепользования, рассмотрено в [4, 14]. Вопросы поддержки принятия решений в задачах обновления станочного парка рассматриваются в [13];

- решения о реорганизации обычно принимаются коллегиально и требуют учета значительного числа разнородных факторов.

В аналогичных условиях оказываются эффективными человеко-машинные методы принятия решений, основу которых составляют специализированные проблемно-ориентированные СППР [15–17].

Анализ вышеизложенного показывает: 1) значительное количество учитываемых факторов имеет качественный характер, что, как правило, существенно повышает долю субъективности при их оценке. В таких случаях часто прибегают к экспертному оцениванию и принятию коллективных решений; 2) паспорта предприятий не предоставляют всю необходимую информацию для принятия решений; 3) в основе количественных оценок при принятии решений о статусах предприятий лежат расчеты (оценки) экономической эффективности; 4) решения принимаются как по комплексам показателей, так и по отдельным показателям; 5) для обоснования принимаемых решений выполняются прогнозы конъюнктур рынков и вырабатываются предложения по оптимальным объемам и номенклатурам выпускаемой продукции; 6) в состав СППР должны входить инструменты, обеспечивающие накопление результатов выполненных операций и мониторинг деятельности реорганизованных предприятий. При проектировании, специализированной проблемно-ориентированной СППР, можно опираться на классификацию СППР, рассмотренную в работе [15]:

- Модельно-ориентированные СППР (*model-driven Decision Support Systems (DSS)*) – согласно рассматриваемой концепции при принятии управленческих решений ЛПР опираются на анализ результатов экспериментов с моделями объектов управления [15, 18]. В зависимости от задач и объектов при разработке математических моделей возможно применение различных подходов к построению моделей: системная динамика, мультиагентное моделирование, дискретно-событийное моделирование и др. [15, 18–21].
- СППР ориентированные на исторические данные (*data-driven DSS*) – при принятии управленческих решений ЛПР опираются на результаты обработки больших массивов исторических данных. Согласно рассматриваемой концепции у СППР должен быть постоянный доступ к хранилищам и базам исторических данных. В рамках СППР, в зависимости от решаемых задач и характера данных, применяются различные методы обработки и анализа данных, включая интеллектуальные [15, 16, 22].
- СППР ориентированные на документы (*documentation-driven DSS*) – при принятии управленческих решений ЛПР опираются на результаты обработки больших тематических коллекций сложноструктурированных документов, изображений, аудио, видео и данных в других форматах, хранящихся в различных корпоративных информационных системах. Часто такие данные не стандартизированы и являются неструктурированными либо слабоструктурированными. Для повышения эффективности принятия решений, на основе такого рода исходных данных, в СППР применяют различные программные инструменты, на основе методов извлечения информации, информационного поиска и распознавания образов [15].
- СППР ориентированные на знания (*knowledge-driven DSS*) – СППР разработанные согласно рассматриваемой концепции опираются на различные методы и модели представления знаний, в интеллектуальных системах и автоматизацию процедур обработки знаний. В рассматриваемых СППР, системы автоматизированных рассуждений, экспертные системы, системы с нечеткой логикой, системы интеллектуального анализа данных и другие программные компоненты, на основе технологий искусственного интеллекта, тесно интегрированы [15, 23, 24].
- СППР ориентированные на коммуникации (*communication-driven DSS*; групповые СППР, *group DSS (GDSS)*) – СППР разработанные согласно рассматриваемой концепции представляют собой цифровые платформы, позволяющие на основе применения современных информационно-коммуникационных технологий организовать для ЛПР специализированную предметно-ориентированную инфраструктуру, позволяющую осуществлять совместную работу (в т.ч.

удаленную), включая процедуры оперативного обмена информацией между экспертами, обсуждения и согласования групповых решений [15–17].

При разработке СППР в контексте рассматриваемых задач реорганизации промышленных производств целесообразно применять гибридный подход, сочетающий элементы всех вышеперечисленных. Данное обстоятельство вызвано:

- необходимостью в принятии групповых экспертных решений (экспертная группа включает специалистов из разных областей: экономика, проектные работы, технология производства, эксплуатация оборудования и пр.);
- необходимостью, для ЛПР, в совместном исследовании математических моделей (математические модели систем различной природы: производственные, логистические, экономические и пр.);
- необходимостью в анализе больших объем документации в т.ч. методической, нормативной, юридической и пр.;
- необходимостью в анализе больших объем исторических данных различной природы;
- необходимостью в применении различных методов и моделей представления знаний и автоматизации процедур их обработки.

## 1. Основные этапы принятия решений

В условиях неопределенности и риска, которые порождаются экспертным характером принимаемых решений, наличием элементов прогнозирования, решением оптимизационных задач в условиях неполной информации и другими факторами, сложно рассчитывать на то, что процедура принятия решений будет строго последовательной, а решения, принимаемые на отдельных этапах, будут однозначными и не подлежащими корректировке. В подобных случаях возможно применение итерационных процедур принятия решений.

Рассмотрим один из вариантов структуры процесса принятия решения о статусе предприятия. На начальном этапе (этап 1) готовится необходимая для принятия решения информация, по которой можно судить: об экономическом и экологическом состояниях предприятия, эффективности землепользования, о соответствии предприятия стратегическим интересам развития корпорации или холдинга, а также о соответствии профиля предприятия общей политике корпорации (холдинга). Источниками исходных данных являются: паспорт предприятия и результаты его обследований. Рассматриваемые данные группируются по следующим категориям факторов:  $\Phi 1$  – финансово-экономическое положение предприятия с учетом ретроспективы для анализа и прогнозирования;  $\Phi 2$  – эффективность землепользования;  $\Phi 3$  – экологические показатели производства с учетом ретроспективы для прогнозирования возможного накопленного ущерба;  $\Phi 4$  – соответствие предприятия и его деятельности политике корпорации или холдинга. По каждой категории факторов должны быть заданы предельно допустимые нормы и методики выполнения расчетов. Результаты расчетов (этап 2) анализируются экспертами (этап 3). Если в результате экспертного анализа устанавливается, что все показатели по всем категориям факторов лежат в допустимых пределах, то предприятию присваивается статус  $ST0 = 1$ , это означает, что рассматриваемое предприятие может продолжать функционировать без изменений. Если хотя бы по одной категории факторов расчетные значения соответствующих показателей выходят за допустимые пределы, то предприятие включается в перечень предприятий, подлежащих реорганизации. Введем предикат  $\mu_i = \{0, 1\}$ , пусть его областью истинности является область значений факторов  $i$ -ой категории ( $i = 1, \dots, 4$ ), лежащих внутри области допустимых предельных значений. Иными словами,  $\mu_i = 1$ , если значения факторов  $i$ -ой категории ( $i = 1, \dots, 4$ ), лежат в допустимых пределах, и  $\mu_i = 0$  – в противном случае. Тогда условие получения статуса  $ST0$  может быть записано в виде логической формулы:  $ST0 = \mu_1 \wedge \mu_2 \wedge \mu_3 \wedge \mu_4$ . Если  $ST0 = 1$ , то собранные данные направляются в архив; если  $ST0 = 0$  (предприятие включается в перечень), то следует переход к этапу 4. На этапе 4 оцениваются: возможности по улучшению экономического и экологического состояний предприятия, возможности по повышению эффективности землепользования, возможности по приведению деятельности предприятия в соответствие стратегическим интересам развития корпорации или холдинга, а также оценивается соответствие профиля предприятия общей политике корпорации или холдинга. Если в результате соответствующего анализа хотя бы по одной из упомянутых категорий факторов получен отрицательный ответ (это означает, что в принципе: невозможно улучшить экономическое состояние предприятия; невозможно повысить эффективность землепользования; невозможно улучшить экологическое состояние предприятия; невозможно изменить непрофильный характер деятельности предприятия), то предприятию присваивается статус  $ST3$  («подлежит продаже или ликвидации») и готовится

соответствующая распорядительная документация. В противном случае следует переход к этапу 5, на котором решается задача оптимизации производственных мощностей предприятия, номенклатуры и объемов выпускаемой продукции. Упомянутая задача в рассматриваемой прикладной области в силу неопределенности показателей и неточности исходных данных решается методом анализа вариантов, для чего в модуле 5 предусматриваются механизмы генерации различных вариантов. Результаты экспертизы решения этой задачи вновь анализируются с точки зрения соответствия статуса предприятия статусу ST3 (этап 6). На этом этапе некоторые варианты будут отброшены как неудовлетворительные; несколько вариантов будут оставлены для дальнейшего анализа. Если на этом этапе признается, что статус предприятия – ST1 («подлежит реформированию») или ST2 («подлежит перебазируванию»), то на этапе 7 выполняется прогнозирование и оцениваются перспективы его финансово-экономических показателей. По причинам, изложенным ранее, метод решения этой задачи – рассмотрение возможных вариантов из числа тех, которые признаны рациональными на этапе 6. На этапе 8 выполняется проверка полноты множества рассмотренных вариантов. Этап 9 – оценка «объемов необходимых инвестиций». Результаты этих расчетов используются на этапе 10 – «оценка эффективности инвестиций», также в результате анализа на этапе 10 окончательно устанавливается статус ST1 или ST2. Нельзя также исключить, что в результате этих операций будет сделан вывод о неэффективности финансирования реформирования или перебазирувания. Такое решение возвращает итерационную процедуру принятия решений на этап 5. Если признано целесообразным реформировать предприятие, то на следующем этапе в модуле 11 ищется (методом перебора вариантов) вариант реформирования. Если признано целесообразным перебазировать предприятие, то в модуле 12 решается задача выбора предприятия и/или свободного земельного участка, на территорию которого можно выполнить такое перебазирование. Выбор варианта требует наличия паспортов предприятий, информации о свободных земельных участках, а также некоторой дополнительной информации. Информация по всем рассмотренным вариантам помещается в библиотеку, откуда ее можно получить для выполнения аналогичных расчетных процедур, а также при необходимости уточнения принятых решений. Полученные оценки применяются в качестве обоснований при поиске источников финансирования и инвестиций и оформляются документально.

Особенностями предложенной процедуры принятия решений по присвоению предприятию определенного статуса являются: циклический характер процедуры; сочетание аналитических и эвристических методов оценки альтернатив; применение метода генерации вариантов; использование библиотек рассмотренных вариантов, выполненных расчетов, оценок и принятых решений.

Предложенная структура процесса принятия решений позволяет провести декомпозицию общей задачи на частные подзадачи. Возможный вариант декомпозиции можно представить следующим образом:

- Первая частная задача – анализ показателей производства, на основании которых можно принять решение о статусе предприятия. В решении рассматриваемой задачи задействованы модули 1 – 4 СППР.
- Вторая частная задача – выбор варианта реорганизации предприятия. Решение задачи представлено модулями 5 – 8 СППР с циклическим характером решения. Особенности являются: необходимость генерации вариантов; неопределенность в оценке числа возможных вариантов; зависимость решения от результатов прогноза.
- Третья частная задача – оценка необходимых объемов инвестиций (модуль 9). Задача решается, если принято решение о целесообразности реформирования или перебазирувания предприятия.
- Четвертая частная задача – принятие решения за потенциального инвестора об эффективности инвестирования в реформирование или перебазирование (модуль 10). Задача сводится к расчету прибыли с учетом затрат на реформирование или перебазирование и сопутствующих рисков; в ее основе также фактически лежит задача реорганизации производства.

## **2. Состав и структура программного и информационного обеспечения СППР**

Состав и структура программного и информационного обеспечения СППР, сформированы исходя из основных этапов процедуры принятия решений, рассмотренной в предыдущем разделе. Структура взаимодействий элементов СППР на основных этапах принятия решений приведена на рис. 1.

В модуле 1 готовится необходимая для принятия решений информация. В качестве источника исходных данных используются: паспорт предприятия и результаты его обследований. Необходимая для функционирования рассматриваемого модуля информационная поддержка – БД (база данных) паспортов предприятий и БД результатов обследований предприятий. Для заполнения последней

требуется предварительная обработка результатов с помощью соответствующего ПО (программного обеспечения).

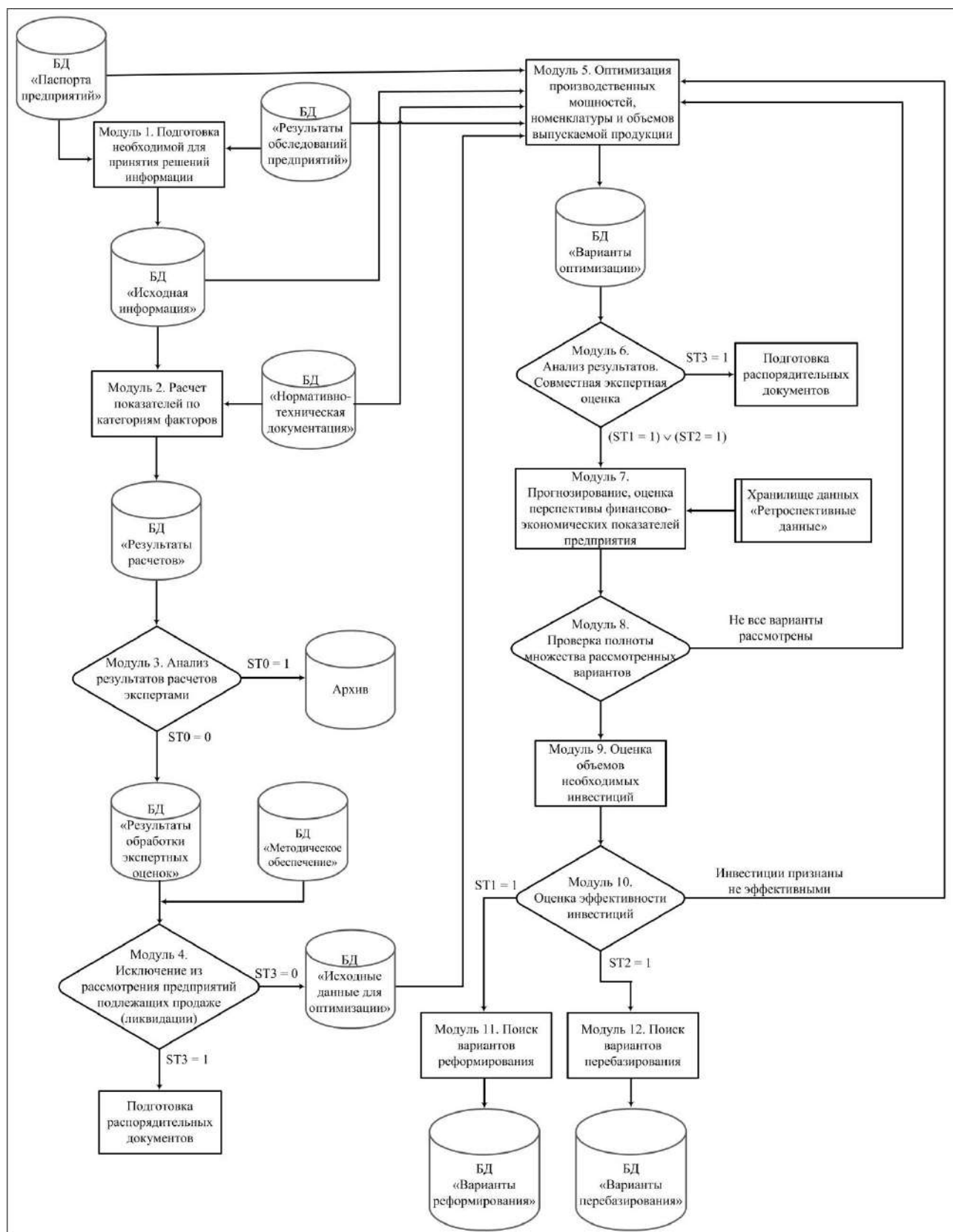


Рис. 1. Структура взаимодействия элементов СПСР на основных этапах принятия решений

В модуле 2 выполняются расчеты основных количественных показателей по категориям факторов. Исходными данными являются данные из баз, модуля 1, а также из БД нормативно-технической документации (содержащей различные инструкции, методики, справочники и пр.). Для обработки

применяется специальное ПО. Полученные результаты накапливаются в соответствующей БД. Модуль 3 – анализ результатов расчетов экспертами. Экспертная оценка в общем случае проводится в режиме дистанционной обработки. Для обеспечения функционала модуля 3 должны быть подготовлены электронные анкеты для экспертов; организован обмен между рабочими станциями экспертов и базами данных модуля 1; разработано ПО обработки экспертных оценок; разработано ПО оценки компетентности экспертов. Результаты обработки экспертных оценок накапливаются в соответствующей БД. Модуль 4 позволяет исключить из последующего рассмотрения предприятия, подлежащие продаже или ликвидации. Фактически рассматриваемый модуль является логическим продолжением предыдущего модуля: суждение о необходимости продажи (ликвидации) выносится экспертами. Необходимо отметить, что работа экспертов поддерживается определенным методическим обеспечением, которое сохраняется и накапливается в соответствующей БД. В модуле 5 решается задача оптимизации производственных мощностей предприятия, номенклатуры и объемов выпускаемой продукции. Для этого предусмотрены специальные программные компоненты, реализующие следующий функционал: генерация вариантов модернизации предприятия, изменения номенклатуры и объемов выпускаемой продукции; расчет значений критериев эффективности, в частности, затрат на модернизацию и прибыли в результате оптимизации производственной программы; интерфейс с экспертами, позволяющий им проводить расчеты по вариантам и оценивать их эффективность; документирование результатов работы экспертов. Для работы экспертов требуются: исходная информация о предприятии (из баз данных модуля 1), нормативно-техническая документация, а также справочная информация (в частности, доступная с помощью информационных ресурсов Интернета и корпоративных сетей). В модуле 6 варианты, рекомендованные отдельными экспертами, выносятся на совместное обсуждение, после чего фиксируется и документируется обобщенное мнение. На этапе 7 выполняется прогнозирование деятельности предприятия, оцениваются перспективы его состояния, включая финансово-экономические показатели. Состав программного и информационного обеспечения модуля 7 аналогичен предыдущим, однако алгоритмы и соответствующие программное обеспечение модуля 7, предназначенные для вычисления значений критериев эффективности существенно усложняются. Это связано с реализацией прогноза эффективности и, в частности, соотношения затрат и прибыли, в перспективе. Для реализации методов прогнозирования обычно требуются ретроспективные (исторические) данные. Следовательно, должен быть предусмотрен доступ к соответствующим архивам. Временной срез ретроспективных данных может сделать целесообразным отход от традиционных баз данных, заменив их хранилищем данных. На этапах 9 и 10, соответственно, производятся: оценка объемов необходимых инвестиций и оценка их эффективности. Окончательный вывод формируется экспертным путем, состав необходимого для этого ПО повторяет упомянутый ранее. Варианты реформирования генерируются и оцениваются в модуле 11. Общий принцип его работы и обеспечивающее программное и информационное обеспечение повторяют рассмотренное в модулях 5 и 6. Выбор вариантов требует наличия паспортов предприятий. Информация по всем рассмотренным вариантам помещается в библиотеку, откуда ее можно получить при выполнении других аналогичных процедур, а также при необходимости уточнения принятых решений. Существенно усложняется процедура выбора, если принято решение о перебазировании предприятия. Если признано целесообразным перебазировать предприятие, то в модуле 12 решается задача выбора (методом перебора вариантов) предприятия и/или свободного земельного участка, на территорию которого можно осуществить рассматриваемое перебазирование. Выбор вариантов требует наличия паспортов предприятий и/или информации о доступных свободных земельных участках. Информация по всем рассмотренным вариантам помещается в библиотеку, откуда ее можно получить при выполнении других аналогичных процедур, а также при необходимости уточнения принятых решений.

Результаты вышеприведенного анализа представлены на рис. 2. Их можно обобщить следующим образом. СППР состоит из трех взаимосвязанных подсистем: подсистема предварительной обработки, аналитическая подсистема и служебная подсистема.

Подсистема предварительной обработки. Для вычисления значений критериев эффективности и других количественных показателей в состав СППР входит специальная подсистема. Ее функциональное назначение – выполнение вычислений по известным алгоритмам, описанным в соответствующих нормативно-методических материалах. ПО подсистемы можно сгруппировать по следующему функционалу: ПО для формирования перечня предприятий, организаций и отдельных производств, подлежащих реорганизации (перебазированию, реформированию, продаже (ликвидации)); ПО для оценки затрат на выполнение работ по осуществлению реформирования и перебазирования предприятий.

Аналитическая подсистема. Представленные выше анализ постановки задач и предложенная структура прикладного программного обеспечения показывают, что многие важные решения принимаются ЛПР с применением слабо формализованных методов оценивания на основе неточных и/или неполных исходных данных. Для поддержки принятия таких решений целесообразно применять специальные математические модели, реализованные в виде прикладного ПО аналитической обработки. Функциональное назначение упомянутого ПО – реализация математических методов и моделей, выбранных при проектировании СППР, исходя из особенностей рассматриваемых задач. К их числу относятся следующие программы: выработка предложений по оптимальным объемам и номенклатуре выпускаемой продукции с учетом нужд корпорации или холдинга (целенаправленная генерация вариантов на основе прогнозирования); оптимизация производственных мощностей реорганизуемого предприятия (целенаправленная генерация вариантов с учетом ретроспективы); генерация вариантов размещения перебазируемого предприятия; подбор предприятия среди аналогичных или близких по профилю производства с незагруженными мощностями и с неэффективно используемыми производственными площадями; подбор доступных свободных земельных участков; анализ рисков инвестиций (с учетом перспектив рынков сбыта).

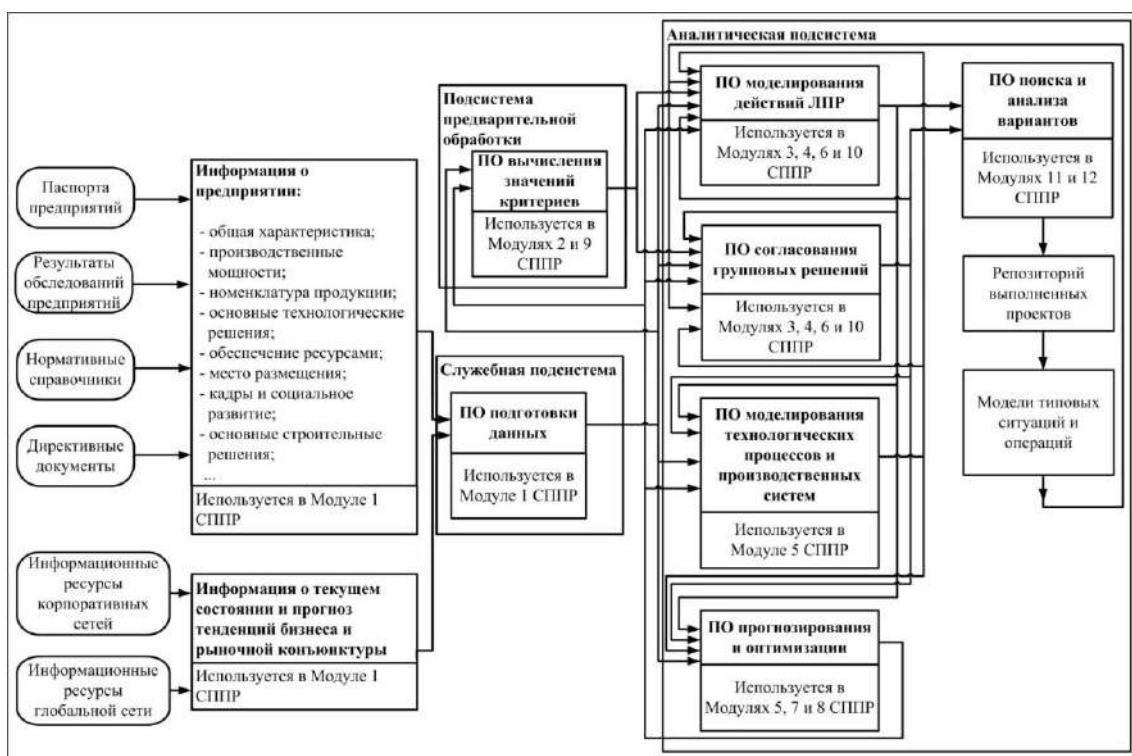


Рис. 2. Структура и взаимосвязи информационного и программного обеспечения СППР

Служебная подсистема. Функциональное назначение подсистемы: вычисление некоторых характеристик, определяющих точность выполненных оценок; преобразование форматов и подготовка наборов исходных, промежуточных и выходных данных; генераторы отчетов; интерфейс системы с экспертами, ЛПР и другими пользователями; контроль вводимой информации и пр. В представленный перечень не включены общесистемные программы, программы, относящиеся к стандартным системам управления базами данных, а также сетевые программные средства.

Информационное обеспечение поддержки принятия решений состоит из совокупности следующих информационных ресурсов: паспорта всех предприятий входящих в корпорацию или холдинг; паспорта доступных свободных земельных участков; дополнительные сведения, обеспечивающие программы предварительной обработки; нормативно-техническая документация, необходимая для программ предварительной обработки и аналитических программ; формы документов (экспертные анкеты и заключения, распорядительные документы, отчеты и пр.); юридические документы; методические материалы (руководства, инструкции, методики и пр.); результаты выполненных расчетов; результаты экспертиз; варианты анализируемых и принимаемых решений; данные по мониторингу деятельности реформированных и перебазируемых предприятий и пр.

### 3. Математические модели некоторых частных задач реорганизации промышленных производств

В качестве примера рассмотрим математические модели следующих частных задач реорганизации промышленных производств: 1) задача повышения эффективности землепользования; 2) задача технического перевооружения цеха. Рассматриваемые частные задачи реорганизации промышленных производств относятся к области стратегического менеджмента. В качестве инструментария при разработке математических моделей на стратегическом уровне управления методы моделирования на основе исторических данных (статистика, машинное обучение) ограничены в применении т.к. большая часть проектов достаточно индивидуальна и выявленные посредством анализа исторических данных закономерности часто являются слабо (ограничено) «переносимыми» в другие проекты. Модели дискретно-событийного класса, также зачастую слабо подходят для упомянутых задач поддержки принятия решений т.к. их разработка требует наличия определенной исходной информации, которая может быть предоставлена только по завершению определенного объема проектных работ, что не всегда является возможным. Для поддержки принятия решений на стратегическом уровне управления и проверки, концептуальных макроуровневых моделей хорошо себя зарекомендовали методы и модели системной динамики [19–21, 25–27].

#### 3.1. Задача повышения эффективности землепользования

В работе [28] рассматривается применение регрессионно-игровых моделей для решения задач оценки эффективности землепользования. Решение задач оптимизации землепользования на основе применения математических методов финансового анализа рассмотрено в [29]. Однако постановки и контекст рассмотренных в работах [28, 29] задач существенно отличаются от специфики задач, рассматриваемых в настоящей работе. В работах [4, 14] рассматривались задачи повышения эффективности землепользования и соответствующие математические модели на основе методов системной динамики. Представленная модель разработана на их основе и существенно дополнена. В некоторой промышленной зоне располагается предприятие, производящее продукцию и приносящее своему собственнику некоторый доход. В рассматриваемой постановке задачи, эффективность землепользования определяется, в т.ч. арендной платой, отнесенной к площади занимаемой территории. Сравнивая эффективность землепользования территориями, занимаемой рассматриваемым предприятием со средней эффективностью землепользования в данной промышленной зоне, собственник земли принимает решение о назначении арендных платежей на некоторый период. Собственник предприятия проводит прогнозирование своих прибылей с учетом уровня арендных платежей и сравнивает предполагаемый уровень дохода с минимальным, приемлемым уровнем. В этот момент времени собственник предприятия может сделать выбор в пользу одного из альтернативных вариантов развития ситуации: предприятие продолжает функционировать без изменений, реформирование предприятия или его перебазирование. Для описания моделей системной динамики разработана специальная нотация [30]. Моделируемый период времени разбивается на интервалы. Рассматриваются три момента времени:  $J$  – предшествующий момент,  $K$  – настоящий,  $L$  – последующий. Интервалы времени:  $JK$  – истекший,  $KL$  – начинающийся. В рассматриваемой системно-динамической модели присутствуют следующие уровни:

1) Фонды собственника предприятия ( $EOF$ ) [рубли], накопитель пополняется за счет доходов от промышленного производства. Уровень  $EOF$  снижается за счет различных выплат (аренда, налоги и пр.) и за счет вложений в реорганизацию производства:  $EOF.K = EOF.J + (COMP.JK + EINC.JK - ETAX.JK - EOREORG.JK) \cdot DT$ , где  $COMP$  – темп компенсации издержек собственника перебазируемого производства,  $EINC$  – темп получения собственником дохода от производства,  $EOREORG$  – темп финансирования собственником предприятия реорганизации производства.

2) Фонды инвестора ( $IA$ ) [рубли], накопитель задействован только при наличии инвестора. Накопитель  $IA$  пополняется за счет доходов от промышленного производства. Уровень  $IA$  снижается за счет различных выплат:  $IA.K = IA.J + (IINC.JK - ITAX.JK - COMP.JK - IFINRELOC.JK) \cdot DT$ .

3) Площадь, занимаемая предприятием на изначальной территории ( $ITIA$ ) [ $m^2$ ]. В случае принятия решения о перебазировании, уровень накопителя будет снижаться, в случае принятия решения о реформировании производства, уровень накопителя останется неизменным:  $ITIA.K = ITIA.J - RELOC.JK \cdot DT$ .

4) Площадь, занимаемая перебазируемым предприятием на новой территории ( $IARELOC$ ) [ $m^2$ ]. При принятии решения о перебазировании уровень накопителя будет расти:  $IARELOC.K = IARELOC.J + RELOC.JK \cdot DT$ .

5) Объем денежных средств, вложенных собственником предприятия в реформирование производства (*EOAREF*) [рублей]:  $EOAREF.K = EOAREF.J + EOREORG.JK \cdot DT$ .

Перечисленные накопители связаны между собой посредством потоков, каждый поток регулируется соответствующим ему темпом. Темпы в свою очередь вычисляются при помощи дополнительных переменных. В модели присутствуют следующие темпы:

1) Темп сбора налогов с собственника предприятия (*ETAX*) [рублей в месяц]:  $ETAX.KL = TR \cdot (1 - DR)$ , где *TR* – уровень налогообложения.

2) Темп сбора налогов с инвестора (*ITAX*) [рублей в месяц]:  $ITAX.KL = TR \cdot DR$ .

3) Темп получения дохода инвестором (*IINC*) [рублей в месяц]:  $IINC.KL = IAA.J \cdot EQID \cdot IPP \cdot DR$ , где *IAA* – площадь промышленной зоны задействованной в производстве продукции, *EQID* – производительность задействованного оборудования, занимающего единицу площади, *IPP* – цена за единицу производимой продукции.

4) Темп переоборудования (*RELOC*) [м<sup>2</sup> в месяц]:  $RELOC.KL = IARELOCP / IEIP$ , где *IARELOCP* – объем денежных средств, выделяемых на финансирование процедур переоборудования в текущем временном интервале, *IEIP* – стоимость установки оборудования на единицу площади, включая суммарные затраты, связанные с освобождением старых площадей от оборудования, его транспортировкой, монтажом и вводом в эксплуатацию на новой территории.

5) Темп финансирования переоборудования инвестором (*IFINRELOC*) [рублей в месяц]:  $IFINRELOC.KL = IARELOCP$ .

### 3.2. Задача технического перевооружения цеха

В работе [13] рассматривается модель обновления станочного парка, основанная на применении функциональных уравнений. Несмотря на относительную простоту представленной в упомянутой работе модели с ее помощью, возможно, достаточно оперативно осуществлять поддержку принятия решений включая процедуры анализа и сравнения различных альтернативных вариантов, выбора наилучшего варианта из множества допустимых и пр. Также следует упомянуть ряд работ затрагивающих вопросы математического моделирования процессов технического перевооружения и обновления парка оборудования. В работах [31, 32] рассматриваются эволюционные модели. В [33–35] рассматриваются модели и методы автоматизации процедур подбора оборудования производственных систем, на стадиях их проектирования и модернизации. В [36] рассматривается аналитическая модель обновления парка оборудования.

Рассмотрим системно-динамическую математическую модель технического перевооружения цеха. Рассматривается цех, производящий некоторую продукцию. Необходимо установить некоторое количество единиц нового оборудования на свободные площади цеха и на место прежнего оборудования. Известны: количество старого оборудования, площадь, занимаемая единицей старого оборудования, площадь, занимаемая единицей нового оборудования и общая площадь производственных помещений. Также задается максимальный темп поставки, монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования. Во время модернизации цех продолжает выпускать продукцию и приносить прибыль. Известны: производительности оборудования, стоимости монтажа и ввода в эксплуатацию единиц нового оборудования и стоимости демонтажа и вывода из эксплуатации единиц старого оборудования. Новое оборудование начинает функционировать через определенный интервал времени после процедуры монтажа. Техническое перевооружение финансируется за счет части доходов от производства (доля от прибыли, выделяемая на модернизацию, постоянна).

В системно-динамической модели технического перевооружения цеха присутствуют следующие уровни:

1) Количество старого оборудования (*OLD*) [штуки]:  $OLD.K = OLD.J - DISINSTAL.JK \cdot DT$ . Уровень накопителя снижается за счет потока демонтируемого старого оборудования.

2) Количество нового оборудования (*NEW*) [штуки]:  $NEW.K = NEW.J + INSTAL.JK \cdot DT$ . Уровень накопителя пополняется за счет потока нового оборудования, вводящегося в эксплуатацию.

3) Количество денежных средств (*MA*), доход от реализации продукции [рублей]:  $MA.K = MA.J + (PTOTAL.JK - ALLOC.JK) \cdot DT$ . Уровень накопителя пополняется за счет прибыли от производства и снижается за счет выделения денежных средств на монтаж/демонтаж оборудования.

4) Количество неустановленного нового оборудования (*ANEW*) [штуки]:  $ANEW.K = ANEW.J - INSTAL.JK \cdot DT$ . Уровень накопителя снижается за счет монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования.

В модели присутствуют следующие темпы:

1) Темп выделения денежных средств на обновление оборудования (*ALLOC*) [рублей в месяц]:  $ALLOC.KL = MAE + MAV$ , где *MAE* и *MAV* – объем денежных средств, выделяемых на освоение свободных площадей и на замену оборудования соответственно.

2) Темп прибыли (*PTOTAL*) [рублей в месяц]:  $PTOTAL.KL = (PNEW + POLD) \cdot PRICE$ , где *PNEW* – количество продукции, произведенной старым оборудованием, выпущенной за рассматриваемый временной интервал, *POLD* – количество продукции, произведенной новым оборудованием, *PRICE* – цена за единицу продукции.

3) Темп монтажа нового оборудования (*INSTAL*) [единиц в месяц]:  $INSTAL.KL = I$ , где *I* – скорость монтажа, на рассматриваемом временном интервале.

4) Темп демонтажа старого оборудования (*DISINSTAL*) [единиц в месяц]:  $DISINSTAL.KL = D$ , где *D* – скорость демонтажа, на рассматриваемом временном интервале.

#### 4. Заключение

В докладе рассмотрены методы и средства поддержки принятия решений по реорганизации промышленных производств, в рамках крупномасштабных промышленных корпораций и холдингов. В качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений предлагается специализированная проблемно-ориентированная СППР. При разработке СППР в контексте рассматриваемых задач реорганизации промышленных производств целесообразно применять гибридный подход, сочетающий элементы функционала модельно-ориентированных СППР, СППР ориентированных на исторические данные, СППР ориентированных на документы, СППР ориентированных на знания и СППР ориентированных на коммуникации. В условиях неопределенности и риска, которые порождаются экспертным характером принимаемых решений, наличием элементов прогнозирования, решением оптимизационных задач в условиях неполной информации и другими факторами, сложно рассчитывать на то, что процедура принятия решений будет строго последовательной, а решения, принимаемые на отдельных этапах, будут однозначными и не подлежащими корректировке. Упомянутые особенности обусловили применение итерационных процедур принятия решений. Рассмотрены основные этапы одного из вариантов организации итерационной процедуры принятия решений, состав и структура программного и информационного обеспечения СППР. Состав и структура программного и информационного обеспечения СППР, сформированы исходя из основных этапов процедуры принятия решений. Приведена структура взаимодействий элементов СППР на основных этапах принятия решений. Рассмотрены структура и взаимосвязи информационного и программного обеспечения СППР. Рассматриваются примеры математических моделей некоторых частных задач реорганизации промышленных производств: задача повышения эффективности землепользования; задача технического перевооружения цеха. Рассматриваемые частные задачи реорганизации промышленных производств относятся к области стратегического менеджмента. При разработке математических моделей применялись методы системной динамики.

#### Литература

1. *Калянов Г.Н.* Теория и практика реорганизации бизнес-процессов – М.: СИНТЕГ, 2000. – 203 с.
2. *Рахман И.А.* Методы оценки и прогнозирования развития сферы недвижимости в строительстве. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 92 с.
3. *Рахман И.А.* Оценка объектов недвижимости, нематериальных активов и бизнеса. – М.: МАКС Пресс, 2003. – 148 с.
4. *Зенькович М.В., Иноземцева В.С., Дреус Ю.Г.* Поддержка принятия решений в задачах повышения эффективности землепользования // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды Четырнадцатой международной конференции. – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 1219–1230.
5. *Зенькович М.В., Дреус Ю.Г.* Поддержка принятия решений при оценке инвестиционных проектов создания литейных производств // Прикладная информатика. 2012. № 5(41). – С. 103–113.
6. *Зенькович М.В., Дреус Ю.Г.* Задача поддержки принятия решений при оценке инвестиционных проектов создания литейных производств на базе формовочных линий // Программные продукты и системы. – 2012. – № 4. – С. 242–247.
7. *Зенькович М.В., Дреус Ю.Г.* Повышение эффективности принятия решений при оценке инвестиционных проектов создания и модернизации цехов машиностроительных предприятий // Технология машиностроения. – 2017. – № 10. – С. 65–72.
8. *Зенькович М.В., Дреус Ю.Г.* Методы и средства поддержки принятия решений при проектировании формовочных линий // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 11. – С. 40–43.

9. *Zenkovich M.V., Drevs Y.G.* An application of simulation for foundry plants investment projects estimation of efficiency // *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. – 2015. – Vol. 9. – P. 99–104.
10. *Zenkovich M.V., Drevs Y.G.* A simulation based decision-making support approach for machine-building plants investment projects estimation of efficiency // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2015. – Vol. 81(3). – P. 405–412.
11. *Zenkovich M.V., Drevs Y.G., Inozemtseva V.S., Shevchenko N.A.* Industrial plants investment projects efficiency estimation based on simulation and artificial intelligence methods // *Procedia Computer Science*. – 2021. – Vol. 190. – P. 852–862.
12. *Зенькович М.В., Древис Ю.Г., Иноземцева В.С., Золотарев В.В.* Повышение качества проектных решений при проектировании и модернизации машиностроительных предприятий методами имитационного моделирования // *Технология машиностроения*. – 2022. – № 5. – С. 40–49.
13. *Древис Ю.Г., Лыков О.М.* Система поддержки принятия решений в задаче обновления станочного парка // *Автоматизация в промышленности*. – 2009. – № 7. – С. 30–33.
14. *Зенькович М.В., Древис Ю.Г., Иноземцева В.С.* Повышение качества принятия решений в задачах повышения эффективности землепользования // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2024). Сборник научных трудов. – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 3450–3454.
15. *Power D.J.* Decision support systems: a historical overview // *Handbook on Decision Support Systems*. – Berlin, Heidelberg: Springer. – 2008. – P. 121–140.
16. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // *Проблемы управления*. – 2003. – № 1. – С. 13–28.
17. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерные технологии поддержки, генерации и реализации взаимодействия целей, стратегий и оперативных воздействий // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2007: труды первой международной конференции)*. – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 59–67.
18. *Power D.J., Sharda R.* Model-driven decision support systems: Concepts and research directions // *Decision Support Systems*. – 2007. – Vol. 43(3). – P. 1044–1061.
19. *Каталевский Д.Ю., Суслов С.А.* Имитационное моделирование в управлении сложными проектами // *Проблемы теории и практики управления*. – 2022. – № 2. – С. 101–115.
20. *Rahmandad H., Sterman J.* System Dynamics or Agent-Based Models? Wrong question! Seek the right level of aggregation // *Management Science*. – 2020. – Vol. 54(5). – P. 998–1014.
21. *Gozluklu B., Sterman J.* System dynamics to understand and improve the performance of complex projects // *Research Handbook on Complex Project Organizing*. – Chelt., Northampton: Edw. Ed. Publ. – 2023. – P. 70–77.
22. *Power D.J.* Understanding data-driven decision support systems // *Information Systems Management*. – 2008. – Vol. 25(2). – P. 149–154.
23. *Kurgan L.A., Musilek P.* A survey of knowledge discovery and data mining process models // *The Knowledge Engineering Review*. – 2006. – Vol. 21(01). – P. 1–24.
24. *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В., Слядзь Н.Н., Глушков В.И.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
25. *Борщев А.В.* Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // *Exponenta Pro: Математика в приложениях*. – 2004. – № 3-4. – С. 38–47.
26. *Martinez-Moyano I.J., Richardson G.P.* Best practices in system dynamics modeling // *System Dynamics Review*. – 2013. – Vol. 29(2). – P. 102–123.
27. *Ford D.N., Lyneis J.M.* System dynamics applied to project management: A survey, assessment, and directions for future research // *Sys. Dyn. Enc. of Complexity and System Science Ser.* – NY: Springer. – 2020. – P. 285–314.
28. *Калинин А.Р., Радьков А.С.* Оценка эффективности землепользования в городских агломерациях на основе регрессионно-игрового моделирования // *Прикладная информатика*. – 2024. – № 3(111). – С. 111–124.
29. *Сахарова Л.В., Стрюков М.Б.* Оптимизация землепользования АПК на основе математических методов финансового анализа // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2017. – № 6(60). – С. 86–91.
30. *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). – М.: Прогресс, 1971 – 24 с.
31. *Chadeev V.M.* Evolutionary equation of the composition of the equipment of an automated robot factory // *Automation and Remote Control*. – 2000. – Vol. 61(9). – P. 1570–1578.
32. *Чадаев В.М.* Уравнение эволюции состава оборудования автоматизированного завода роботов // *Автоматика и телемеханика*. – 2000. – № 9. – С. 173–182.
33. *Аристова Н.И., Чадаев В.М.* Модернизация проекта гибкой робототехнической ячейки для производства деталей типа «Втулка» // *Автоматизация в промышленности*. – 2022. – № 4. – С. 30–35.
34. *Аристова Н.И., Чадаев В.М.* Разработка гибкой робототехнической ячейки для производства деталей типа «тело вращения» с минимальной средней стоимостью // *Датчики и системы*. – 2022. – № 3(262). – С. 55–60.
35. *Аристова Н.И., Чадаев В.М.* Моделирование процесса технологической подготовки матричного производства // *Датчики и системы*. – 2023. – № 1(266). – С. 46–49.
36. *Чайковский М.В.* Использование собственных векторов для решения задачи обновления парка оборудования // *Информационные технологии: материалы 85-й научно-технической конференции* – Минск: БГТУ, 2021. – С. 151–154.