



К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ. Ч. 2. Программная реализация системы управления инвестиционной деятельностью вертикально интегрированной нефтяной компании

А.С. Акопов

Изучены проблемы проектирования интеллектуальных систем управления, в частности, связанные с вопросами интеграции моделей звеньев сложных организационных структур с многомерным информационным хранилищем. Описаны алгоритмы, поддерживающие механизм эффективного управления объектом, в частности, генетические алгоритмы, жадные алгоритмы и другие, реализованные в рамках программного комплекса, разработанного для вертикально-интегрированных нефтяных компаний.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, управление вертикально-интегрированными компаниями, генетические алгоритмы.

ВВЕДЕНИЕ

В первой части настоящей статьи [1] были изучены важные вопросы, связанные с проектированием интеллектуальных систем управления сложными организационными структурами, в частности, вопросы сверхбольшой размерности задачи и неопределенности в выборе эффективных управляющих параметров. Был приведен пример сложной организационной структуры в виде вертикально-интегрированной компании (ВИК). Перечислены ключевые звенья ВИК — звено добычи, звено транспортировки, звено переработки и сбыта. Описаны существующие системы, применимые для стратегического и оперативного управления такими звеньями.

Во второй части статьи рассматриваются проблемы интеграции моделей звеньев системы с многомерным информационным хранилищем, обеспечивающей технологии эффективного информационного обмена в режиме реального времени, а также аспекты создания эффективных процедур класса генетических алгоритмов (ГА), нейронных сетей и других, обеспечивающих систему управления объектом. Далее, изучаются вопросы развития

визуальных средств проектирования и представления информации для управления сложными организационными структурами. Еще раз отметим, что наблюдается снижение эффективности существующих систем управления сложными организационными структурами вследствие их изолированности, что актуализирует задачу по разработке интегрированных систем управления.

Напомним, что создание программных комплексов по управлению сложными организационными системами основано на теоретических разработках отечественных и зарубежных исследователей, среди которых В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, Ж. Тироль, П. Милгром, Дж. Робертс и др. [2—12]. В этих работах описаны общие подходы к решению задач управления организационными системами, а также механизмы функционирования таких систем.

1. ПРОБЛЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМЫ С МНОГОМЕРНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ХРАНИЛИЩЕМ

Важная проблема проектирования интеллектуальных систем управления заключается в необходимости интеграции разрабатываемых моделей звень-

ев организационной структуры с многомерным информационным хранилищем, которое обеспечивает возможность сбора, хранения и обработки исходных данных и результатов моделирования в режиме реального времени.

В работах [13–20] представлены разработанные модели звеньев сложной организационной структуры на примерах вертикально-интегрированной нефтяной компании (ВИНК) и вертикально-интегрированной финансовой корпорации. Данные модели реализованы на платформе имитационного моделирования Powersim, позволяющей модифицировать модели силами конечных пользователей и интегрироваться с различными источниками данных (класса СУБД). Отметим, что в системах управления вертикально-интегрированными компаниями выделяются четыре уровня принятия решений и соответствующих подсистем:

— АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами) — сбор и обработка первичной технологической информации;

— MES-системы (системы управления производством) — оперативное производственное (технологическое) управление;

— ERP-системы — оперативное финансово-хозяйственное управление;

— BPM-системы — стратегическое долгосрочное планирование, нацеленное на повышение экономической эффективности бизнеса.

Важнейший элемент системы управления — многомерное информационное хранилище (в частности, построенное на платформе SAP Business Warehouse (SAP BW)), которое отвечает за сбор и первичную обработку исходных данных для моделей звеньев ВИНК, реализованных на Powersim. Исходные данные загружаются в хранилище из различных систем нижнего уровня: MES-систем, ERP-систем, АСУТП. Для экстракции данных из источников и загрузки их в хранилище применяется технология ETL (Extract, Transform and Load). Приложение ETL извлекают информацию из исходной базы данных, преобразуют ее в формат, поддерживаемый базой данных назначения, а затем загружают в нее преобразованную информацию. В качестве приложений ETL использовались программные продукты IBM (DataStage BW Pack). Процедура загрузки исходных данных в SAP BW основана на формировании ETL-задания, при выполнении которого исходные данные экстрагируются из первичных систем. Отметим, что первичные данные являются оперативными, т. е. имеют дневной, недельный и месячный временной разрез. Физический объем таких данных весьма значителен (десятки терабайт). В качестве примера можно привести технологические данные по десяткам тысяч скважин, собираемые в режиме ре-

ального времени. Отметим, что в хранилище поступают уже агрегированные данные. Агрегация осуществляется до уровня, необходимого для принятия стратегических решений посредством разработанных моделей звеньев системы. В частности, осуществляется переход от месячной информации к годовой, от данных по скважинам к данным по месторождениям, от суточной информации по продажам всего ассортимента нефтепродуктов к недельным данным по продажам ключевых видов нефтепродуктов и т. д. Важнейшими элементами хранилища SAP BW являются инфопровайдеры: инфокубы, инфообъекты, DataStore — объекты и инфоисточники, для которых настраиваются специальные правила обновления и правила переноса соответственно. Такие правила позволяют согласовать структуры данных источников и потребителей информации, которые изначально существенно различаются.

Отметим, что при обработке данных также используются определенные алгоритмы, реализуемые в правилах переноса и обновления. Подготовка первичной информации осуществляется с помощью специальных производственных систем (например, MES-систем). Такие системы, в частности, позволяют спрогнозировать кривую добычи нефти по скважинам на основе данных по запасам и в зависимости от планируемых геолого-технических мероприятий и соответствующих инвестиций. В этих системах используются сложные геологические, гидродинамические модели, позволяющие спрогнозировать добычу, оценить эффект от мероприятий и др. После сбора первичной информации со стороны дочерних предприятий ВИНК она попадает на уровень ERP-систем (рис. 1), где обрабатывается и оформляется в виде так называемых «инвестиционных заявок» со своими технико-экономическими характеристиками, которые затем загружаются в хранилище посредством выполнения ETL-заданий. Далее, инвестиционные заявки попадают в систему Powersim. Заявки обрабатываются с помощью разработанных интегрированных моделей звеньев ВИНК. В результате отдельные (достаточно рентабельные) инвестиционные заявки принимаются, т. е. им ставится в соответствие 1, а другие — отклоняются, т. е. им ставится в соответствие 0. Такой процесс будем называть «отключением» инвестиционных проектов (заявок). Целевым функционалом выступает акционерная стоимость ВИНК. Результаты стратегического планирования — оптимальные инвестиционные решения также сохраняются в хранилище (см. рис. 1) и в дальнейшем обрабатываются с помощью инструментальных средств OLAP (аналитической обработки данных в режиме реального времени).



Физический объем инвестиционных решений достаточно велик (в ряде случаев ежегодно рассматривается более 2000 инвестиционных заявок, охватывающих ключевые звенья ВИНК, имеющие сотни внутренних характеристик). Обработка информации в Powersim (как и исходная) является многомерной. Так, например, объем добычи нефти для инвестиционных проектов звена upstream (нефтедобыча), помимо временного измерения, рассматривается в разрезе месторождений, нефтегазодобывающих предприятий, регионов и др.

Итак, разрабатываемые системы управления сложными организационными структурами относятся к классу ВРМ-систем, реализуются на платформе имитационного моделирования, в частности, Powersim, и интегрируются с многомерным информационным хранилищем (SAP BW), что обеспечивает возможность эффективного сценарного анализа рациональных стратегических решений, получаемых в результате решения задачи оптимизации инвестиционного портфеля ВИНК, в различных аналитических разрезах, охватывающих все звенья ВИНК.

2. ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМОВ, ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Ранее было отмечено, что для решения задач управления сложными организационными структурами, относящихся к классу NP-трудных задач большой размерности, целесообразно применение специальных генетических алгоритмов. Одним из примеров такого подхода служит разработанный алгоритм с угасающей селекцией, обеспечивающий эффективный поиск решений в задаче максимизации акционерной стоимости ВИНК [13, 14]. Схема работы алгоритма представлена на рис. 2.

В целях пояснения работы разработанного алгоритма дадим некоторые определения: *популяция* — множество особей; *особь* — набор допустимых управляющих переменных модели, фазовых переменных, а также вычисляемых характеристик интегрированной модели ВИНК; *хромосома* — набор управляющих переменных данной особи; *ген (проект)* — заданная координата набора управляющих переменных хромосомы.

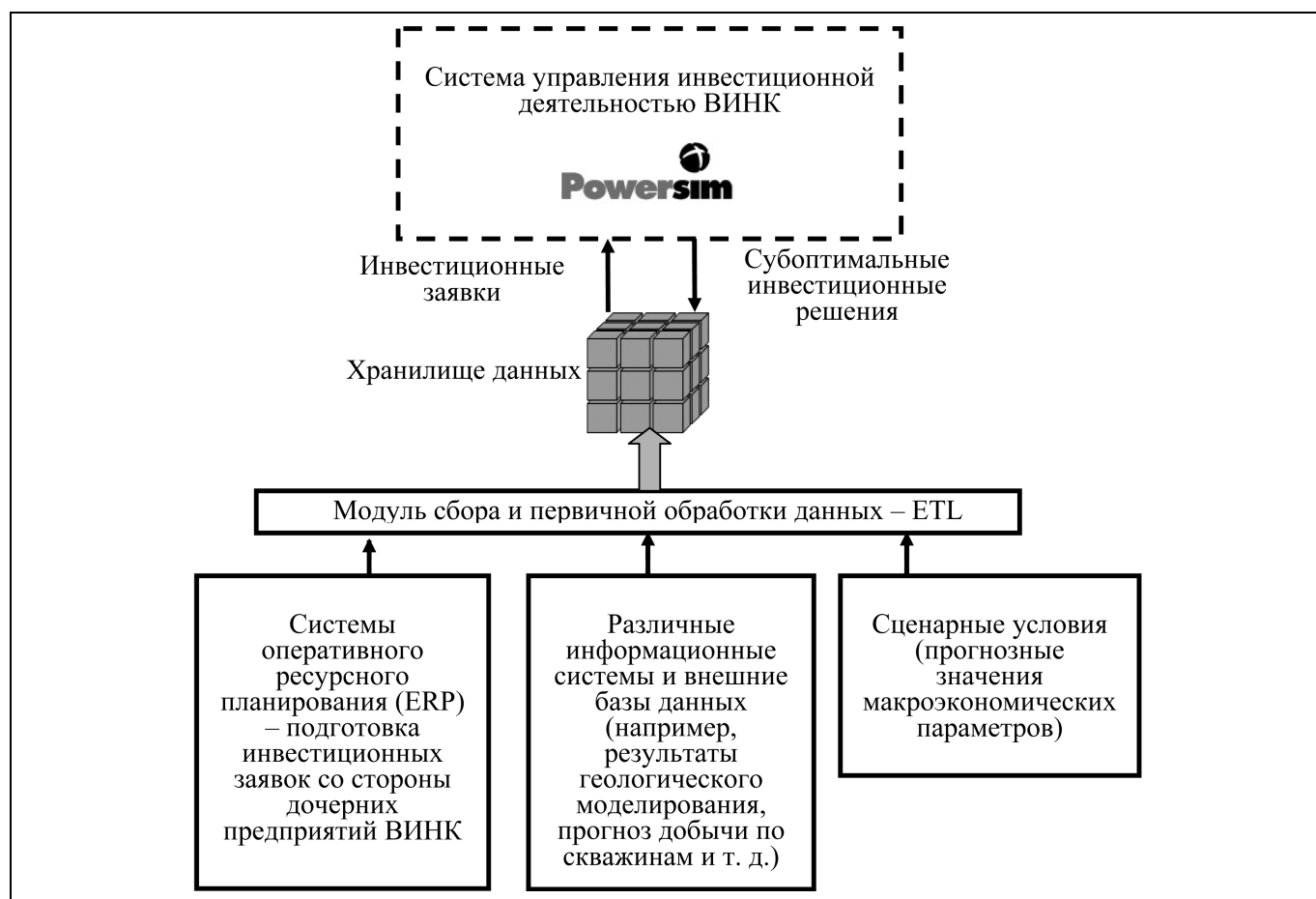


Рис. 1. Архитектура разработанной системы управления инвестиционной деятельностью ВИНК

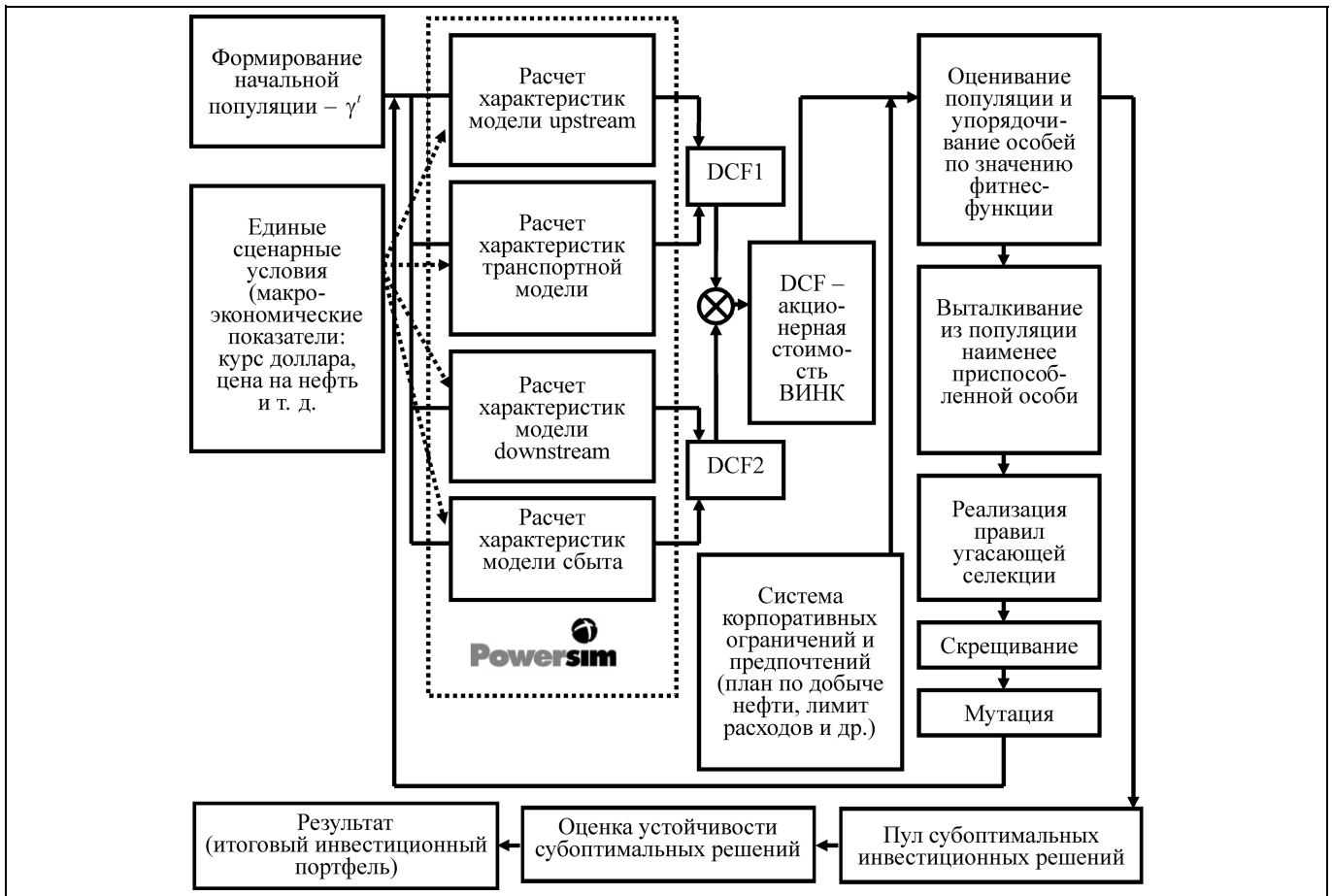


Рис. 2. Схема работы разработанного генетического алгоритма

В ГА есть два важнейших оператора — *оператор кроссинговера* и *оператор мутации*. Функция оператора кроссинговера заключается в выборе двух наиболее сильных (приспособленных) родительских особей из популяции для скрещивания в целях формирования новых более сильных особей. Таким образом, осуществляется направленный поиск локальных экстремумов (и последовательное движение в сторону максимума) в рассматриваемой задаче. Функция оператора мутации заключается в инверсии значения одного или нескольких генов в хромосоме выбранной особи с заданной вероятностью в целях обеспечения выхода из окрестностей локальных экстремумов и «нащупывания» других локальных экстремумов.

Размер популяции фиксирован, поэтому после ее формирования на каждом последующем шаге ГА происходит автоматическое вытаскивание (угасание) наиболее слабой особи из популяции путем вставки новых более сильных особей.

Генетический алгоритм применяется для разработки эффективной процедуры формирования оптимальных инвестиционных решений. Центральным элементом такой процедуры — оценивание по-

пуляции ГА, использующее степень стабилизации фитнес-функции для популяции в качестве критерия сходимости.

Особенность разработанного ГА состоит в применении *правил угасающей селекции*, специально разработанных для решения задачи максимизации акционерной стоимости ВИНК [14]. Суть таких правил заключается в том, что вероятность угасания особи при селекции выбирается с учетом рентабельности инвестиционного портфеля, вычисляемого для данной особи (IRR критерий, описанный в работе [14, с. 25—26]). Отметим, что альтернативой применению правил угасающей селекции служит обычная селекция, в частности, основанная на хорошо известных методах «турнирного отбора», «рулетки» и др. [19]. В результате угасающей селекции удастся существенно повысить эффективность работы ГА (примерно на 25—30 % ускорить процедуру поиска решений), так, в работе [14] экспериментально показано, что малорентабельные проекты с меньшей вероятностью могут быть выбраны в итоговый инвестиционный портфель, обеспечивающий максимизацию акционерной стоимости ВИНК.



Правила угасающей селекции:

- вероятность выбора f -й особи в качестве родительской при выполнении оператора кроссинговера

$$p_{f, sel}^{t; \sigma} = \frac{\text{fit}_f^{t; \sigma}}{\sum_{\xi=1}^F [\text{fit}_{\xi}^{t; \sigma}]/F} (1 - p_{f, out}^t),$$

$$f = 1, 2, \dots, F, \quad \sigma = 1, 2, \dots, \mathfrak{R},$$

где F — размер популяции (внешний параметр ГА) — экзоген, $\text{fit}_f^{t; \sigma}$ — фитнес-функция, вычисленная для f -й особи, $p_{f, out}^t$ — вероятность угасания особи при селекции, σ — эпохи (итерации) ГА;

- вероятность выполнения оператора мутации для g -го гена f -й особи

$$p_{f, g, mut}^{t; \sigma} = \begin{cases} p_{mut}, & \text{если } \gamma_{f, g}^{t-1} = 1, \\ p_{mut}(1 - p_{f, out}^t), & \text{если } \gamma_{f, g}^{t-1} = 0, \end{cases}$$

$$f = 1, 2, \dots, F, \quad \sigma = 1, 2, \dots, \mathfrak{R},$$

где g — индекс гена в хромосоме, p_{mut} — базовая вероятность оператора мутации — экзоген.

Фитнес-функция для f -й особи

$$\text{fit}_f^{t; \sigma} = \Omega_f^{t; \sigma} + \beta \times DCF_f^{\sigma},$$

где DCF_f^{σ} — целевая функция (например, акционерная стоимость) для f -й особи, $\Omega_f^{t; \sigma}$ — оценка состояния f -й особи до границы области допустимых значений, β — весовой коэффициент, $0 \leq \beta \leq 1$, — экзоген. Подробное описание методики расчета расстояния особи f -й особи до границы области допустимых значений представлено в работе [14]. При его вычислении учитываются ограничения уровня звеньев ВИНК и системы в целом (например, план по добыче нефти, лимит операционных расходов и др.).

Вопросы сходимости и устойчивости разработанного ГА подробно описаны в работах [19, 20]. В частности, показано, что экспериментально подобранные параметры ГА (вид оператора кроссинговера, максимальный размер популяции, базовая вероятность мутации и др.) обеспечивают его сходимость и устойчивость даже в условиях сверхбольшого пула инвестиционных проектов, подаваемых на вход ГА. Установлено, что сходимость ГА существенно зависит от вероятности оператора мутации, малое значение которой, выбираемое, в частности, обратно пропорционально длине хромосомы (равной числу инвестиционных проектов в портфеле $1/\hat{\vartheta}$), обеспечивает вывод решений из локальных оптимумов при выполнении критерия сходимости ГА и при значениях, много больших

$1/\hat{\vartheta}$, нарушает процесс стабилизации приспособленности популяции на нескольких эпохах и приводит к редукции ГА.

Отметим, что в работах [19, 20] также изучены вопросы устойчивости инвестиционных решений, получаемых с помощью разработанного ГА, по характеристике рентабельности. В частности, для оценки такой устойчивости рекомендуется вычислять расстояние Хэмминга между инвестиционными решениями, формируемыми ГА при различных сценарных условиях (например, при резком изменении цен на нефть). В случае достижения высоких значений расстояний Хэмминга между решениями (особями), соответствующими различным сценарным условиям, такие решения предлагается отбраковывать. В результате, даже в условиях изменения внешних условий (например, при резком падении цен на нефть) акционерная стоимость ВИНК уменьшится в существенно меньшей степени.

Выбор начального состояния существенно влияет на эффективность работы ГА. В случае формирования начальной популяции ГА исключительно на основе особей со случайным набором генов значительно увеличивается время поиска решений. Если же в начальной популяции ГА имеет некоторое число особей с хорошими значениями фитнес-функции, то увеличивается вероятность того, что особи-потомки будут более приспособленными, что сокращает время поиска решений. Один из методов повышения эффективности работы ГА состоит в применении жадных алгоритмов и динамического программирования для формирования начальной популяции. В результате работы таких алгоритмов для сложной нелинейной вертикально-интегрированной системы управления не удастся получить удовлетворительных решений, тем не менее, они позволяют при определенных условиях сформировать хорошую начальную популяцию решений, состоящую, как правило, из нескольких вариантов рациональных решений, обеспечивающих существенное приближение к оптимальному решению на уровне звеньев (но не системы в целом, так как не выполняется условие оптимальности для подзадач). Применительно к задаче оптимизации инвестиционного портфеля ВИНК, жадный алгоритм позволяет быстро сформировать инвестиционные портфели для нефтедобычи, нефтепереработки и сбыта, содержащие проекты с неотрицательными NPV (чистой приведенной стоимостью) при заданных ограничениях. Включение таких проектов в портфель позволяет существенно увеличить акционерную стоимость ВИНК. Для преодоления хорошо известной проблемы недостатка разнообразия особей в начальной популяции необходимо «разбавлять» популяцию, сформированную с помощью жадного алгоритма, другими особями со случайным набором генов и периоди-

чески осуществлять операцию *аутбридинга*, т. е. скрещивания на основе дальнего родства.

Следующее направление повышения эффективности работы ГА — *распараллеливание вычислений*, в частности, применение ERCW-алгоритма (исключающее чтение и одновременную запись) [21]. Применительно к ГА метод параллельных вычислений заключается в одновременном вычислении оценок фитнес-функции для нескольких потомков, формируемых на каждой эпохе посредством скрещивания. Можно использовать как многопоточные возможности в рамках однопроцессорной системы, так и возможности многопроцессорной системы. В последнем случае, время работы ГА существенно сокращается. В методах параллельных вычислений для повышения эффективности поиска следует использовать большее число родительских особей (3–4 вместо 2) при селекции, что обеспечивает пропорциональное увеличение числа потомков особей в процессе формирования и обновления популяции на каждом шаге ГА. Таким образом, с помощью ERCW-алгоритма может быть обеспечено одновременное оценивание фитнес-функции для большего числа особей-потомков. Наибольшие временные затраты связаны именно с процедурой оценки фитнес-функции для каждой особи, в частности, с расчетом характеристик моделей звеньев ВИНК, так как внутри моделей звеньев реализуются собственные алгоритмы, например, алгоритм решения транспортной задачи методом потенциалов (звено транспортировки нефти), алгоритм вычисления равновесных цен «нашупыванием» (звено сбыта) и др. Скорость вычислений фитнес-функции для всех особей одинакова.

Еще одно преимущество метода распараллеливания вычислений для ГА состоит в возможности применения в рамках мультипроцессорной системы так называемой «островной модели», суть которой заключается в равномерном разбиении популяции особей на равные доли между имеющимися процессорами в целях самостоятельного развития подпопуляций и периодического (например, через каждые 5–6 поколений) обмена между процессорами несколькими наиболее приспособленными особями. При этом необходимо подбирать частоту обмена особями между подпопуляциями (частоту миграции) для предотвращения преждевременной сходимости. Представляется целесообразным периодическая синхронная вставка наиболее приспособленных «островных» особей в некоторую общую (большую) популяцию (именуемую материком), оцениваемую отдельным процессором, и периодическая миграция наилучших особей с «материка» на «острова» (также в целях обновления подпопуляций и предотвращения преждевременной сходимости). При работе ГА и применении метода распараллеливания вычислений важным фактором сходимости и устойчивости алгоритма

является обеспечение сходимости и устойчивости на уровне всех используемых процессоров и потоков. Для этого рекомендуется устанавливать единые параметры операторов кроссинговера и мутации ГА, выполняемых в различных потоках мультипроцессорной системы. Значения других параметров ГА, например, размер популяции, максимальное число эпох и других могут различаться, особенно в рамках «островной» модели.

Если ограничиться однопроцессорной системой с многопоточными возможностями, то ГА, разработанный для задачи максимизации акционерной стоимости ВИНК, реализуемый в каждый момент времени $t = \{1, 2, \dots, T\}$ и использующий возможности параллельных вычислений, имеет следующий вид.

Шаг 1. Формирование начальной популяции, состоящей из двух f -х особей, хромосома каждой из которых состоит из трех групп управляющих параметров

$$\gamma^t = (\{\gamma'_{j,i_j}\}, \{\gamma'_{k,\psi_k}\}, \{\gamma'_{r,c_r}\}),$$

где i_j — индекс проектов в месторождения j -х нефтеснабжающих предприятий, ψ_k — индекс проектов в реконструкцию k -х нефтеперерабатывающих предприятий, c_r — индекс проектов в каналы сбыта r -х регионов.

Шаг 2. Селекция из популяции S — родительских особей с учетом правил угасающей селекции.

Шаг 3. Формирование $(S - 1)S$ особей-потомков посредством операторов кроссинговера и мутации.

Шаг 4. Резервирование (освобождение) $m[(S - 1)S]$ ячеек памяти для обеспечения возможности параллельной записи результатов.

Шаг 5. Цикл по всем f -особям-потомкам в режиме параллельных вычислений: от $i = 0$ до $(S - 1)S$:
— расчет характеристик моделей звеньев ВИНК для каждой новой f -особи из числа потомков;

— вычисление акционерной стоимости ВИНК и невязки ограничений для f -особи, расчет значения фитнес-функции f -особи;

— вставка указателя на f -ю особь в ячейку памяти $m[i]$.

Шаг 6. Конец цикла по f -особям-потомкам;

Шаг 7. Вставка всех новых f -х особей посредством указателей из $m[i]$ ячеек памяти, $i = 1, 2, \dots, (S - 1)S$, в популяцию.

Шаг 8. Оценивание популяции с точки зрения приспособленности и переупорядочивание особей в популяции по значению фитнес-функции.

Шаг 9. Вытаскивание наиболее слабой (наименее приспособленной) особи из популяции.

Шаг 10. Оценка критерия сходимости ГА, переход к шагу 2 в случае, если критерий сходимости не выполнен. Останов алгоритма в случае выполнения критерия сходимости. Критерием сходимости в данном случае служит степень стабилиза-



ции фитнес-функции популяции с течением итераций.

Разработанный ГА относится к классу комбинаторных ERCW-алгоритмов [21], обеспечивающих возможность одновременного сохранения группы значений результатов, поступивших от разных процессоров или потоков однопроцессорной системы. Оценивание популяции с точки зрения приспособленности выполняется после получения данных от всех процессоров (потоков), а чтение результатов работы процессоров (оценка особей) осуществляется только после выполнения операции одновременной записи. Техническая реализация параллельных вычислений характеристик моделей звеньев ВИНК для особей-потомков с последующей оценкой популяции выполнена с использованием языка программирования C++, системы имитационного моделирования Powersim Studio 8 и библиотеки программирования Powersim Studio SDK 8. Система Powersim Studio позволила реализовывать интегрированные модели звеньев ВИНК с помощью инструментов визуального проектирования.

Особенность применяемого подхода состоит в использовании визуальных архетипов системной динамики, в частности, переменных, причинно-следственных связей, резервуаров и других для описания характеристик реального объекта и компьютерной реализации модели. Настройка информационных связей модельных переменных с источниками информации (многомерным хранилищем) также выполняется с помощью визуальных средств проектирования.

Разработанные и реализованные с помощью системы Powersim модели звеньев ВИНК интегрируются с разработанным генетическим оптимизационным алгоритмом (реализованным на языке C++) посредством библиотеки Powersim SDK. Данная библиотека позволяет, в частности, подключаться к имитационным моделям из внешних приложений с использованием технологии COM (Components Object Model — компонентная объектная модель).

В частности, для доступа к моделям из внешних приложений C++ используется метод вида:

```
HRESULT OpenProject(BSTR FileName,
    BSTR Key, BSTR Password; VARIANT_BOOL
    BrowseForFile,
    VARIANT_BOOL ReuseExisting,
    ISimulationProject **ppResult).
```

Здесь *FileName* — имя файла Powersim, в котором реализованы математические модели звеньев ВИНК; ***ppResult* — указатель на класс (объект) *ISimulationProject*, в котором содержатся методы и свойства, обеспечивающие возможность управления расчетами из внешних приложений, таких как программа C++ с реализацией генетического оптимизационного алгоритма; *HRESULT*, *BSTR*, *VARIANT_BOOL* — стандартные типы данных C++.

Отметим, что для поддержки *многопоточных вычислений* необходимо использовать специальные возможности языка программирования C++ и библиотеки Powersim SDK, в частности:

— классы (C++), управляющие и синхронизирующие работу нескольких потоков взаимодействующих с моделями Powersim;

— особые параметры конфигурации SDK, в частности, определяемые в виде строки *Enable Multi Run = 1* для каждой отдельной модели Powersim в соответствующем инициализационном *ini*-файле.

Такой подход позволяет выполнять параллельный запуск моделей Powersim и синхронизировать запись данных потоков в общий (кольцевой) буфер, который в дальнейшем используется для считывания данных и вставки новых особей в популяцию ГА. Подробное описание реализованной версии программного комплекса, обеспечивающего возможность управления характеристиками звеньев ВИНК и системы в целом, выходит за рамки данной статьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

- Проектирование интеллектуальных систем управления для сложных организационных структур, в частности, вертикально-интегрированных компаний, требует интеграции моделей звеньев системы и многомерного информационного хранилища. Необходимо решать такие задачи, как: сбор и обработка исходной информации; агрегация исходных данных до уровня, необходимого для принятия стратегических решений; загрузка данных в хранилище и подключение их к моделям; обеспечение возможности сохранения результатов моделирования в хранилище; настройка средств аналитической отчетности класса OLAP для многомерного анализа данных; создание системы визуализации результатов моделирования в режиме реального времени и др.
- Рациональное управление характеристиками сложной организационной структуры, такой как вертикально-интегрированная компания, требует разработки и применения специальных оптимизационных алгоритмов класса генетических алгоритмов, жадных алгоритмов, динамического программирования и др. В условиях наличия внутренних нелинейных взаимозависимостей и обратных связей между характеристиками звеньев вертикально-интегрированной системы, как правило, не выполняется условие оптимальности для подзадач. Поэтому возможности применения большинства оптимизационных алгоритмов, предназначенных для решения NP-трудных задач, существенно ограничены. В работе показано, что для эффективного управления сложными организаци-

онными структурами целесообразно применение генетических алгоритмов в сочетании с применением на этапе формирования начальной популяции других известных методов решения оптимизационных задач. Отмечено, что существенное повышение эффективности ГА достигается при условии использовании правил угасающей селекции, спроектированных под конкретную оптимизационную задачу и распараллеливания вычислений для самостоятельной оценки фитнес-функций для особей-потомков и мультипроцессорного развития подпопуляций в рамках «островной модели».

- Для решения задачи максимизации акционерной стоимости ВИК разработан программный комплекс [13, 14], представляющий собой совокупность подсистем ее ключевых звеньев. Генетический алгоритм обеспечивает эффективную процедуру поиска рациональных инвестиционных решений в соответствии с правилами угасающей селекции и технологией параллельных вычислений. Разработанный программный комплекс был внедрен в крупнейшей российской нефтяной компании и финансовой корпорации. Получен существенный технический эффект, выражающийся в принципиальном повышении эффективности процедуры принятия рациональных стратегических решений.

- Изучены вопросы сходимости и устойчивости генетического алгоритма, разработанного для решения задачи управления акционерной стоимостью ВИК [19, 20]. Установлено, что его сходимость существенно зависит от вероятности оператора мутации. При работе ГА и применении метода распараллеливания вычислений важным фактором сходимости и устойчивости алгоритма является обеспечение сходимости и устойчивости на уровне всех используемых процессоров и потоков. Для этого рекомендуется устанавливать единые параметры операторов кроссинговера и мутации ГА, выполняемых в различных потоках микропроцессорной системы.

- Для системы управления инвестиционным капиталом вертикально-интегрированной нефтяной компании (ВИНК) разработано математическое и программное обеспечение, позволяющее, в частности, оценивать экономическую эффективность по различным критериям как на уровне системы в целом, так и на уровне отдельных звеньев и их элементов. Особенностью предложенного подхода является высокая степень дифференциации звеньев и их подсистем, учет взаимовлияния характеристик звеньев ВИНК (в том числе, в виде обратных связей и нелинейных зависимостей), а также программная реализация всех внутренних алгоритмов, поддерживающих механизм эффективного управления объектом [13, 14] (таких как, алгоритм «нащупывания» равновесных цен в CGE-модели сбыта нефтепродуктов, алгоритм решения транспортной задачи методом потенциалов и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Акопов А.С.* К вопросу проектирования интеллектуальных систем управления сложными организационными структурами. Ч. I. Математическое обеспечение системы управления инвестиционной деятельностью вертикально интегрированной нефтяной компании // Проблемы управления. — 2010. — № 6. — С. 12—18.
2. *Модели и механизмы в управлении организационными системами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, Н.А. Шульженко.* — Тула: Тульский полиграфист, 2003. — Т. 1. — 560 с.; Т. 2. — 380 с.; Т. 3. — 205 с.
3. *Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А.* Теория графов в управлении организационными системами. — М.: СИНТЕГ, 2001. — 124 с.
4. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* Как управлять организациями. — М.: СИНТЕГ, 2004. — 400 с.
5. *Большие системы: моделирование организационных механизмов / В.Н. Бурков, Б. Данев, А.К. Еналеев и др.* — М.: Наука, 1989. — 245 с.
6. *Губко М.В.* Механизмы управления организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. — М.: ИПУ РАН, 2003. — 118 с.
7. *Новиков Д.А.* Теория управления организационными системами. — М.: МПСИ, 2005. — 584 с.
8. *Новиков Д.А.* Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. — М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. — 150 с.
9. *Иванов Ю.Н., Токарев В.В., Уздемир А.П.* Математическое описание элементов экономики. — М.: Физматлит, 1994. — 416 с.
10. *Цыганов В.В.* Адаптивные механизмы в отраслевом управлении. — М.: Наука, 1991. — 166 с.
11. *Тироль Ж.* Рынки и рыночная власть. Теория организации промышленности. — СПб.: Экономическая школа, 2000. — Т. 1. — 328 с., Т. 2 — 450 с.
12. *Милгром П., Робертс Дж.* Экономика, организация и менеджмент. — СПб.: Экономическая школа, 1999. — Т. 1. — 468 с., Т. 2. — 422 с.
13. *Акопов А.С.* Система управления инвестиционной деятельностью вертикально-интегрированной нефтяной компании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М.: ВЦ РАН, 2009. — 45 с.
14. *Акопов А.С., Бекларян Г.Л.* Интеллектуальные гибридные системы управления деятельностью вертикально-интегрированными организационными структурами / Препринт #WP/2009/267. — М.: ЦЭМИ РАН, 2009. — 54 с.
15. *Акопов А.С.* Поддержка принятия управленческих решений для нефтегазодобывающих предприятий с помощью динамических имитационных моделей // Системы управления и информационные технологии. — 2004. — № 4. — С. 51—56.
16. *Акопов А.С.* Компьютерная модель транспортировки нефтепродуктов // Тр. Ин-та системного анализа РАН. — 2006. — Вып. 10 (2). — С. 281—293.
17. *Акопов А.С.* Компьютерная модель нефтеперерабатывающего предприятия // Там же. — С. 268—280.
18. *Акопов А.С.* Использование средств динамического имитационного моделирования для подготовки управленческих решений в ТЭК // Системы управления и информационные технологии. — 2004. — № 2. — С. 72—77.
19. *Акопов А.С.* Процедура и алгоритмы формирования квази-оптимальных инвестиционных решений вертикально-интегрированной нефтяной компании // Тр. Ин-та системного анализа РАН. — 2008. — Вып. 32 (1). — С. 168—179.
20. *Акопов А.С.* О сходимости и устойчивости модифицированного генетического алгоритма в задаче управления инвестиционным портфелем вертикально-интегрированной нефтяной компании // Там же. — С. 180—189.
21. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.* Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. под ред. А. Шеня. — М.: МЦНМО, 2002. — 960 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии, чл.-корр. РАН Д.А. Новиковым.

Акопов Андраник Сумбатович — д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН, профессор ГУ-ВШЭ, г. Москва, ✉ akopovas@stream.ru.