

УДК 004.942

Соуд Абдалазез Мохаммед Амен

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## АГЕНТНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ

*Предложена агентная имитационная модель анализа потоковых процессов в цепочке поставок «сеть нефтебаз – сеть АЗС». Описаны основные особенности поведения и взаимодействия агентов при моделировании процессов доставки нефтепродуктов на АЗС. Разработанная компьютерная система может быть использована для принятия решений по эффективному управлению потоковыми процессами в интегрированных комплексах хранения и распределения нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** нефтепродуктообеспечение, логистика, цепочка поставок, агентная имитационная модель.

### Введение

На современном этапе предприятия нефтепродуктообеспечения сталкиваются с необходимостью комплексной интеграции процессов управления производственной деятельностью, логистикой и торговыми операциями, чтобы иметь полную и достоверную информацию для принятия эффективных управленческих решений и максимально оперативно реагировать на любые изменения структуры спроса и предложения на рынке.

Сложность решения этих задач обуславливается, главным образом, спецификой предприятий нефтепродуктообеспечения: сложная филиальная или холдинговая структура предприятия; обширная сфера деятельности – хранение, перевалка, оптовая и розничная реализация различных видов нефтепродуктов; территориальная распределенность предприятия – департаменты управления, распределения и транспорта, нефтебазы, каждая из которых обслуживают свою сеть автозаправочных станций; большой и сложный документооборот при организации логистики нефтепродуктов; большое число участников процесса внутри компании по различным направлениям; необходимость максимального использования ресурсной базы и др.

Рассмотренные особенности обуславливают актуальность и важность разработки модели анализа процессов управления предприятиями нефтепродуктообеспечения, основанной на системном представлении и динамическом моделировании потоковых процессов, которая позволит в конечном итоге сократить затраты на логистику нефтепродуктов и содержание автопарка.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Неотъемлемым элементом анализа систем управления цепочками поставок (SCM), к которым относятся и предприятия нефтепродуктообеспечения, являются имитационные модели [1]. На сегодняшний день сформировались и наиболее широко применяются три основных подхода: дискретно-событийное

моделирование, модели системной динамики и агентное моделирование.

Большая часть работ, связанных с моделированием нефтяных компаний, использует инструментарий дискретно-событийного имитационного моделирования. Здесь следует выделить работу [2], где предложена дискретно-событийная модель для нефтяной компании PETROBRAS, которая была разработана в инструментальной среде Agena. Модель охватывает логистическую цепочку «терминалы – нефтеперерабатывающие заводы – нефтебазы», оставляя без внимания распределительную сеть до конечных потребителей.

Другой подход, основанный на моделях системной динамики, рассматривается в [3, 4]. Построенная в [3] модель охватывает процессы добычи, переработки, хранения и транспортировки сырой нефти, а также частично хранения и транспортировки нефтепродуктов и позволяет проводить анализ динамики поведения системы, обусловленного взаимодействием запасов, материальных потоков, информационных задержек и, что является отличительной чертой модели, возможных нештатных ситуаций.

Наиболее актуальным и перспективным направлением исследования в настоящее время является создание систем имитационного моделирования на основе мультиагентного подхода. Рассмотренные особенности, связанные с моделированием процессов управления предприятиями нефтепродуктообеспечения, хорошо соответствуют идеям, положенным в основу теории агентных систем. Перспективы использования мультиагентного подхода для рассматриваемых задач обусловлены преимуществами, которые он предоставляет для распределенных интеллектуальных бизнес-приложений: автономность агентов, индивидуальное поведение (от простых условий до логического вывода решений), возможность обучения и адаптации, координация их действий и др. В работе [3] описана имитационная модель на основе технологии мультиагентных систем для поддержки принятия решений в логистике портового нефтяного терминала, где агентами

выступают такие его элементы, как танкеры, портовые причалы, трубопроводы и нефтеперерабатывающие заводы, которые взаимодействуют между собой путем проведения переговоров, решая задачи оптимального распределения нефти.

Отдельный интерес представляет разработка российской компании XJ Technologies система AnyLogic [1]. AnyLogic объединяет в себе преимущества моделей системной динамики, дискретно-событийного моделирования и мультиагентных технологий. Так, например, в работе [6] описываются некоторые вопросы, связанные с моделированием логистической цепи поставок биотоплива в Европе и Латвии с использованием AnyLogic. На наш взгляд ограничением системы AnyLogic на данном этапе развития является отсутствие средств интеллектуализации – для представления и манипулирования знаниями, которые в мультиагентных системах служат для создания онтологий. Онтология является формальным описанием (концептуализацией) предметной области и правил принятия решений, которое служит для упрощения программирования поведения агентов и используется ими при взаимодействии. Таким образом, онтологическая база знаний, которая становится основным элементом программного агента системы, дающим ему возможность принимать решения, планировать действия, взаимодействовать с другими агентами, содержит модели концептуальных понятий, отношений предметной области и правила для анализа и ситуативной ориентации.

**Постановка задачи исследования.** Проведенный анализ, а также рассмотренные выше особенности, позволяют сформулировать цель данной работы, которой является разработка знаниеориентированной системы имитационного моделирования процессов управления предприятиями нефтепродуктообеспечения, на основе агентного подхода, в составе которой функционируют интеллектуальные агенты, осуществляющие принятие решений и взаимодействие с помощью онтологической базы знаний и механизма логического вывода.

## Агентная имитационная модель анализа процессов нефтепродуктообеспечения

При формировании агентного представления имитационной модели необходимо исходить из выделения элементов с индивидуальным поведением. Для решения наших задач необходимо рассмотрение всей логистической цепочки товародвижения от нефтеперерабатывающих заводов до логистических посредников, реализующих товар конечным потребителям.

Одной из центральных задач при агентном моделировании потоковых процессов в рассматриваемой системе является формирование множества альтернативных вариантов покупки/продажи ресурсов (нефтепродуктов). В этом случае простейший вариант организации мультиагентного сообщества при решении задач по распределению ресурсов может быть основан на взаимодействии покупающих и продающих агентов, выполняющих поиск соответствия на рынке имеющихся ресурсов. Конкурируя и кооперируясь между собой при заключении «сделок» для совместного решения возникающих задач (для чего агенты могут использовать развитые экономические механизмы, включая доленое участие, аукционы и т.д.), агенты могут обеспечить системе новые возможности в самоорганизации для постоянного приспособления к изменяющейся ситуации. Использование понятия аукциона в переговорах агентов обеспечивает возможность явной передачи «полезности» (в виде цены) от одного агента к другому.

Можно достаточно четко выделить элементы системы, выполняющие основные функции дистрибуции нефтепродуктов (рис. 1): концентрация (консолидация) – нефтяные хранилища (базы) – *RefiningAgents*; физическое распределение – нефтепродуктопроводы *PipelineAgents*, специализированные автотранспортные средства *TransportationAgents*; посреднические услуги по распространению – организации дистрибьюторской сети (ритейлеры и др.) – *DistributionAgents*; распределение по конечным пот-

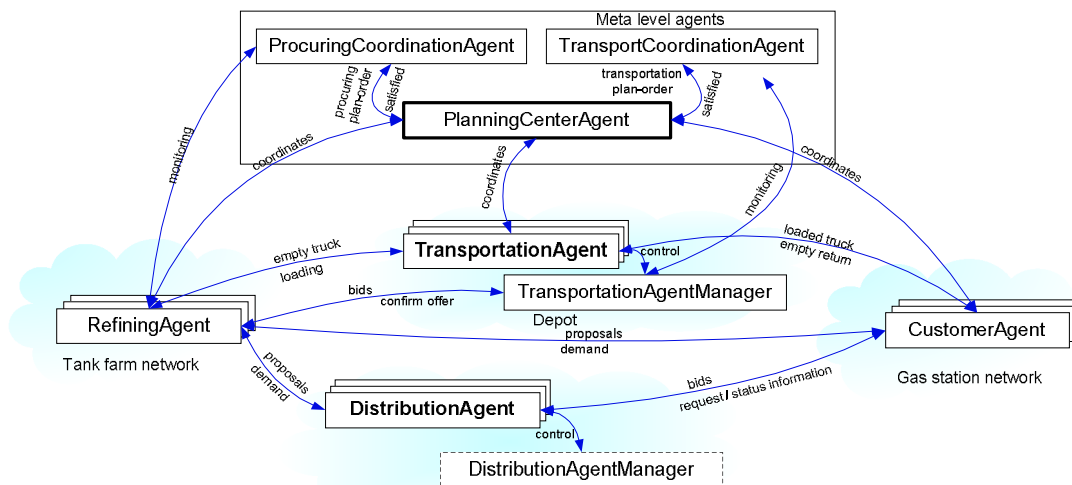


Рис. 1. Агентная имитационная модель анализа процессов нефтепродуктообеспечения

ребителям – на данном этапе развития модели рассматриваются только автозаправочные станции (АЗС) и комплексы – *CustomerAgents*.

Моделирование потоковых процессов предприятия нефтепродуктообеспечения в этом случае осуществляется через взаимодействие (переговоры) между агентами, представляющими собой участников цепочки поставок с общей задачей – бесперебойное снабжение потребителей нефтепродуктами в требуемом количестве и ассортименте с наименьшими затратами.

*RefiningAgent* имеет в своем составе резервуарный парк по всей номенклатуре видов топлива, который представлен в виде набора резервуаров (танков), количество которых колеблется от нескольких штук до нескольких десятков и даже сотен единиц. Кроме суммарной емкости, каждый резервуар имеет свой страховой запас (минимальный и максимальный уровни). Наполнение резервуаров осуществляется либо последовательно (но в соответствии с сортностью), либо по заданной оператором схеме.

Первоначально в модели могут быть заданы, по требованию заказчика, существующие запасы нефтепродуктов и свободные емкости в резервуарных парках всех агентов технологического комплекса. Модельно резервуарный парк представляется агентом с определенным количеством очередей (зависит от вида и сортности нефтепродуктов). В составе *RefiningAgent* имеется также наливная станция, непосредственно связанная с резервуарным парком и предназначенная для отгрузки нефтепродуктов потребителям. Характеризуется количеством портов отгрузки и интенсивностью забора нефтепродуктов по каждому из них. В имитационной модели наливная станция представлена как множество очередей потребителей для каждого порта отгрузки. *RefiningAgent* моделирует также временную составляющую перевозочного процесса, связанную с наполнением цистерн автомобилей и автопоездов. *RefiningAgent*, направляет другим агентам (*DistributionAgents* и *CustomerAgents*) информацию о продаже ресурсов определенного объема и по определенной цене, а те в свою очередь, подают агенту нефтебазы свои запросы на поставку. *RefiningAgent* фиксирует заявки в своей базе, контролирует лимиты и акцептует их, согласуясь с состоянием ресурсов, политиками поставок и допустимыми рисками. Соответствующим агентам отсылается подтверждение или отказ. Акцептованные сделки участвуют в дальнейших расчетах при моделировании, отклоненные сделки могут быть доработаны агентами (изменение суммы, срока и других атрибутов сделки) или удалены.

*CustomerAgent* является конечным звеном рассматриваемой логистической цепи поставок. *CustomerAgent* потребляет нефтепродукты с определенной интенсивностью и постоянно отправляет информацию *DistributionAgents* о своем состоянии и план-графиках поставок нефтепродуктов (время и объем забираемого нефтепродукта). Для *Customer-*

*Agent* должно быть указано, во-первых, какие виды топлива отпускаются на данной станции, во-вторых, каковы емкости резервуаров для каждого вида топлива. Если на АЗС предусматривается наличие страхового запаса определенного вида топлива, то его величина должна быть в дальнейшем учтена в расчетах. Чтобы не прекратилась продажа какого-либо вида топлива и не произошла потеря клиентуры, агент должен произвести заказ на нефтебазе или у дистрибьютора. Поэтому одна из основных задач, решаемых агентом это определение времени упреждения заказа (времени заказа). Следует учитывать, что для расчета этого времени необходимо знать, помимо характеристик работы самой АЗС, показатели, связанные с перевозочным процессом, и параметры работы нефтебазы, связанные с отпуском каждого вида топлива. Следовательно, время упреждения заказа является обобщенным параметром логистической цепи, отражающим принцип «точно - во - время» и включающим в себя характеристики функционирования других агентов.

*DistributionAgents* также принимает запросы от потребителей на поставку нефтепродуктов и обычно взаимодействует при этом с заранее заданными агентами нефтебаз и перевозчиков. В общем случае здесь может быть построена иерархическая структура дистрибьюторской сети, в этом случае возникает агент метауровня *DistributionAgentManager*.

*TransportationAgent* моделирует подвижной состав (одиночные автомобили-цистерны, автопоезда), используемый для перевозок различных сортов бензина и дизельного топлива. *TransportationAgent* подключается (взаимодействует) к одному или нескольким пунктам (портам) забора нефти у *RefiningAgent*, по каждому из которых указывается интенсивность забора. Управление агентами *TransportationAgent* осуществляется агентом метауровня – *TransportationAgentManager*, который, по сути, представляет собой автотранспортное предприятие (АТП). В общем случае в процессе доставки может использоваться несколько АТП, которые могут принадлежать компании или являться внешними перевозчиками. Агент *TransportationAgentManager* осуществляет планирование, расчет и оптимизацию маршрутов движения нефтевозов по доставке запланированных объемов на АЗС, с учетом всевозможных правил и ограничений доставки нефтепродуктов, учета индивидуальных характеристик бензовозов и АЗС, доступного парка бензовозов.

На агентов метауровня возлагаются обязанности, связанные с координацией действий других агентов при разрешении (перепланирование, перераспределение ресурсов, использование резервов и др.) возникающих конфликтных или рискованных событий в системе.

Разработан комплекс оптимизационных моделей, заложенных в качестве поведения агентов имитационной модели анализа процессов нефтепродуктообеспечения (рис. 2):

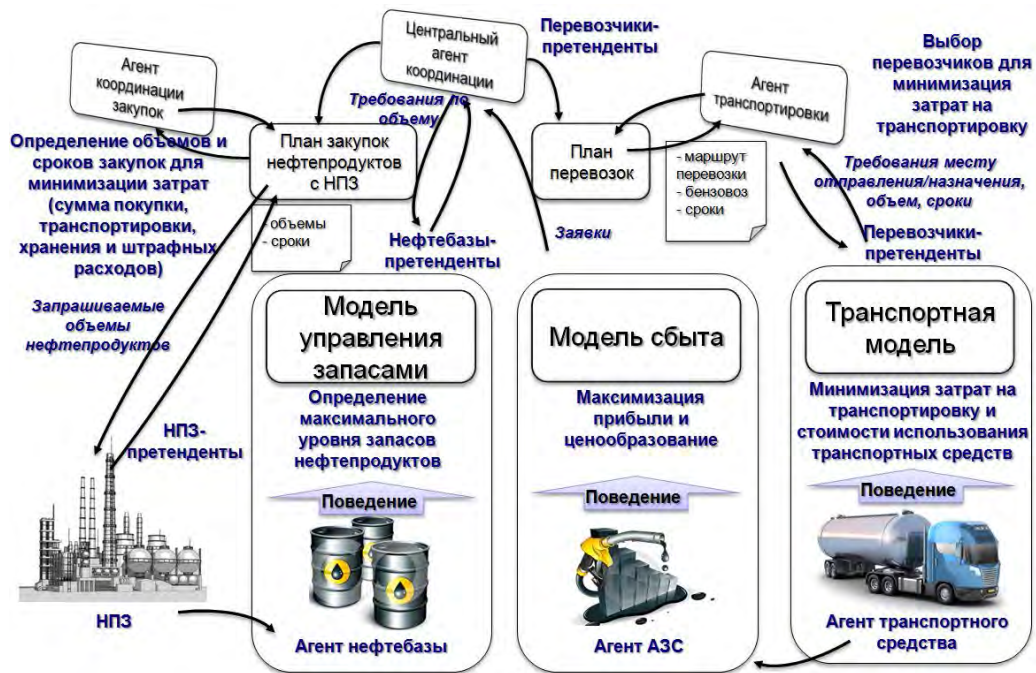


Рис. 2. Моделирование в цепочке «НПЗ – сеть нефтебаз – сеть АЗС»

– транспортная модель, которая позволяет более полно учесть варианты перемещения транспортных средств в логистике нефтепродуктов;

– модель рыночного ценообразования для АЗС, позволяющая формализовать правила и стратегии, которые они используют при реализации нефтепродуктов;

– модели агентов планирования и координации, позволяющие за счет последовательного согласования планов поставок, закупок и транспортировки учесть интересы нефтебаз, производителей/поставщиков и перевозчиков для достижения наилучших результатов в соответствии с целями цепи поставок.

Рассмотрим модели поведения агентов координационной группы.

Пусть в системе имеется  $k$  заказов на поставку объема  $Q_k$  нефтепродукта в срок  $d_k$ ,  $k = 1, \dots, l$ .

Рассмотрим поведение агента *PlanningCenterAgent*. Примем следующие обозначения:

- $m$  – число нефтебаз-претендентов;
- $p_i^{(S)}, I_i^{(S)}$  – стоимость и имеющийся объем продукта на  $i$ -й нефтебазе-претенденте,  $i = 1, \dots, m$ ;
- $q_{ij}^{(S)}, d_{ij}^{(S)}$  – объем продукта и прогнозируемый срок его получения от  $j$ -го поставщика (НПЗ)  $j = 1, \dots, n_i$ , где  $n_i$  число поставщиков для  $i$ -й нефтебазы-претендента;
- $p_i^{(t)}, \tau_i^{(t)}$  – планируемая стоимость и время транспортировки от  $i$ -й нефтебазы-претендента потребителю;

–  $x_{ik}$  – переменная, которая определяет запланированный объем поставки  $i$ -й нефтебазой-претендентом на  $k$ -й заказ;

–  $Q'_k$  – требования по объему на  $k$ -й заказ, который не может быть удовлетворен нефтебазами-претендентами.

Тогда из всего множества нефтебаз-претендентов выбираются те, которые удовлетворяют условию

$$S_{ik} = \{j \mid d_{k-1} - \tau_i^{(t)} < d_{ij}^{(S)} \leq d_k - \tau_i^{(t)}, j = 1, \dots, n_i\}.$$

Будем считать, что нефтебазы-претенденты отсортированы следующим образом

$$p_1^{(S)} + p_1^{(t)} \leq p_2^{(S)} + p_2^{(t)} \leq \dots \leq p_m^{(S)} + p_m^{(t)}.$$

Алгоритм работы агента *PlanningCenterAgent* следующий.

Шаг 1.  $x_{i0} = 0, C_{i0}^{(S)} = I_i^{(S)}$ .

Шаг 2. В цикле по заказам на поставку  $k$ ,  $k = 1, k = 1, \dots, l$ .

Вычисляем  $C_{ik}^{(S)} = C_{i,k-1}^{(S)} - x_{i,k-1} + \sum_{j \in S_{ik}} q_{ij}^{(S)}$ .

Пусть  $QQ = 0$ .

В цикле по нефтебазам-претендентам  $i$ ,  $i = 1, i = 1, \dots, m$ .

Если  $QQ + C_{ik}^{(S)} \geq Q_k$ , то  $x_{ik} = Q_k - QQ$ ,  $x_{jk} = 0$ ,  $j = i+1, \dots, m$ , выход из цикла и возврат к шагу 2.

Иначе  $x_{ik} = C_{ik}^{(S)}$ ,  $QQ = QQ + C_{ik}^{(S)}$ ,  $i = i+1$ , конец цикла по нефтебазам-претендентам  $i$

$$Q'_k = Q_k - QQ$$

Конец цикла по заказам на поставку  $k$ .

Таким образом, агент *PlanningCenterAgent* формирует план поставок нефтепродуктов с НПЗ

для неудовлетворенного объема  $Q'_k > 0$  заявок на поставку от потребителей (АЗС) и отправляет его агенту *ProcuringCoordinationAgent*.

Рассмотрим поведение агента координации закупок *ProcuringCoordinationAgent*.

Предположим, что агентом *ProcuringCoordinationAgent* получен от агента *PlanningCenterAgent* план закупок нефтепродуктов с НПЗ, содержащий запрашиваемые объемы нефтепродуктов  $Q'_k > 0$ , которые должны быть доставлены в сроки  $d'_k$ ,  $k = 1, \dots, l'$ .

Примем следующие обозначения:

- $n$  – число НПЗ-претендентов;
- $P_{it}^{(m)}$ ,  $C_{it}^{(min)}$ ,  $C_{it}^{(max)}$  – стоимость, минимальная и максимальная производительность соответственно в период  $t$  для НПЗ-претендента,  $i = 1, \dots, n$ ,  $t = 1, \dots, T$ ;

- $p_i^{(mt)}$ ,  $\tau_i^{(mt)}$  – планируемая стоимость и время транспортировки от  $i$ -го НПЗ-претендента потребителю;

- $h_i$  – стоимость хранения одной тонны продукта за один период для  $i$ -го НПЗ-претендента;

- $y_{it}$  – переменная, которая определяет предоставляемый объем  $i$ -м НПЗ-претендентом в период  $t$ ;

- $z_{it}$  – переменная, которая определяет запланированный объем транспортировки от  $i$ -го НПЗ-претендента в период  $t$ .

Пусть  $f_p$ ,  $f_t$ ,  $f_e$ ,  $f_h$  обозначают стоимость покупки, плановую себестоимость перевозки, штраф за раннюю доставку заказа, а также затраты на хранение для НПЗ:

$$f_p = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T P_{it}^{(m)} y_{it},$$

$$f_t = \sum_{i=1}^n P_i^{(mt)} \left( \sum_{t=1}^T y_{it} \right),$$

$$f_e = h \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^{t-\tau_i^{(mt)}} z_{ir} - \sum_{d'_k \leq t} Q'_k \right),$$

$$f_h = \sum_{i=1}^n \left( h_i \sum_{t=2}^T \sum_{r=1}^{t-1} (y_{ir} - z_{ir}) \right).$$

Модель линейного программирования представлена целевой функцией, которая минимизирует сумму покупки, транспортировки, хранения и штрафных расходов, которые являются экономическими компонентами этой модели

$$\min \{f_p + f_t + f_e + f_h\},$$

при условиях:

- того, что число заказов удовлетворяется

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{d'_k - \tau_i^{(mt)}} z_{it} \geq \sum_{i=1}^k Q'_i, \quad k = 1, \dots, l' - 1,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{d'_1 - \tau_i^{(mt)}} z_{it} = \sum_{i=1}^{l'} Q'_i;$$

- гарантии того, что отгружаемый объем не будет превышать заказной объем для каждого НПЗ в любой момент времени

$$\sum_{r=1}^t y_{ir} \geq \sum_{r=1}^t z_{ir}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T;$$

- ограничения по минимальной и максимальной производительности

$$C_{it}^{(min)} \leq y_{it} \leq C_{it}^{(max)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T;$$

- не отрицательности ограничений

$$y_{it} \geq 0, \quad z_{it} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T.$$

Агент *PlanningCenterAgent* формирует также план перевозок для всех транспортировок в системе ( $z_{it} > 0$  – от НПЗ и  $x_{ik} > 0$  от нефтебаз) и отправляет его агенту *TransportCoordinationAgent*.

Рассмотрим поведение агента транспортировки *TransportCoordinationAgent*.

Каждая задача на перевозку нефтепродуктов описывается местом отправления, местом назначения, объемом и временными рамками. Перевозчик-претендент формирует цену для каждой задачи.

Примем следующие обозначения:

- $n_T$  – число задач на перевозку;

- $m_T$  – число перевозчиков-претендентов;

- $p_{ij}$  – цена задачи  $i$  от перевозчика-претендента  $j$ ,  $i = 1, \dots, n_T$ ,  $j = 1, \dots, m_T$ ;

- $x_{ij}^1$  – переменная, при значении  $x_{ij}^1 = 1$  задача  $i$  назначается перевозчику-претенденту  $j$ .

Модель представлена целевой функцией, которая минимизирует затраты на транспортировку

$$\min \sum_{i=1}^{n_T} \sum_{j=1}^{m_T} p_{ij} x_{ij}^1,$$

при условии: каждой задаче назначается перевозчик

$$\sum_{j=1}^{m_T} x_{ij}^1 = 1, \quad i = 1, \dots, n_T, \quad x_{ij}^1 = \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n_T,$$

$j = 1, \dots, m_T$ .

Таким образом, в рамках разработанной агентной модели анализа процессов нефтепродуктообеспечения мы рассмотрели комплекс частных моделей, описывающих динамику характеристик звеньев ПНПО с учетом влияния сценарных условий, ограничений и различных управляющих параметров. Глобальное поведение и состояние системы формируется как результат локального поведения и взаимодействия агентов.

## Компьютерная система моделирования

Разработка системы осуществлялась на базе системы моделирования Anylogic. Были созданы испытательный стенд моделирования распределенной структуры технологического комплекса; онтологическая база знаний; описания классов и реализации поведения агентов, соответствующих предложенной структуре имитационной модели; инструментарий для оценки и анализа основных планово-экономических показателей.

Особенность предлагаемого подхода – визуальное моделирование с возможностью привязки структуры всего технологического комплекса к цифровой карте местности. При этом в системе для каждого структурного элемента автоматически создается соответствующий агент или будет сгенерировано их заданное число, где каждый имеет динамические связи с другими агентами, которые могут формироваться и исчезать в процессе моделирования. Созданный программный комплекс предназначен для решения следующих задач: прогнозирование объемов поставок нефтепродуктов на каждую АЗС; планирование графика поставок и автоматическое создание заказов нефтепродуктов для каждой АЗС; расчет и оптимизация маршрутов движения нефтевозов по доставке запланированных объемов на АЗС, с учетом всевозможных правил и ограничений доставки нефтепродуктов, учета индивидуальных характеристик бензовозов и АЗС, доступного парка бензовозов; планирование потребности в количестве и видах бензовозов, а также сокращение парка бензовозов за счет «сглаживания» пиковых нагрузок по ежедневным доставкам нефтепродуктов; планирование и контроль затрат на транспортную логистику; исключение ситуаций простаивания АЗС без какого-либо вида топлива, а также простоя бензовоза на АЗС в ожидании разгрузки; сокращение затрат, связанное с затариванием «лишним» бензином и «замораживанием денег» на одних АЗС и нехватки этого бензина на нефтебазах для других АЗС.

Экспериментальная апробация прототипа модели дала возможность уточнить структуру и состав необходимых параметров для разработки полной модели технологического комплекса.

Модель была апробирована на анализе процессов управления в национальной нефтяной компании Iraq Oil (UB Холдинг), которая является пионером в области работы с нефтепродуктами. Кроме торговли нефти и операций на топливных терминалах, компания Iraq Oil занимается розничными операциями и владеет сетью АЗС. UB Холдинг занимается распределением нефтепродуктов в регионе с большим парком грузовиков.

Моделирование проводилось при варьировании различных параметров: суточный объем реализации на АЗС; оборачиваемость танкеров; объем танкеров; количество автоцистерн; объем автоцистерн и др.

При этом фиксировались следующие основные показатели системы: объемы нефти в хранилищах, объемы нефти на НПЗ, объемы нефтепродуктов в хранилищах НПЗ, объемы нефтепродуктов на терминалах, запасы на АЗС.

На основе проведенных имитационных исследований получены следующие результаты и предложены соответствующие рекомендации по повышению эффективности деятельности распределительно-сбытовой сети Iraq Oil:

- выявлена неэффективность закупок с одних НПЗ при имеющихся в соответствующие периоды более выгодных предложениях от других;
- сформирован список нерентабельных АЗС по видам нефтепродуктов;
- выявлены резервы повышения объемов добычи и экспорта сырой нефти за счет введения новых нефтебаз;
- выявлена необходимость и экономическая обоснованность инвестиций в развитие собственного парка бензовозов;
- выявлена высокая эффективность формирования коммерческих запасов в периоды низких цен для реализации в периоды более высоких.

## Заключение

В работе предложена агентная имитационная модель анализа процессов управления предприятиями нефтепродуктообеспечения, которая учитывает множество взаимосвязанных потоков, требований, целей и стратегий поведения отдельных его элементов, а также динамику логистических процессов. На основе разработанной модели возможно решение различных аналитических и планово-прогнозных задач: анализ основных планово-экономических показателей деятельности предприятия в различных разрезах, а также прогноз состояния при различных вариантах покупки/продажи ресурсов с формированием портфеля заказов, графика использования автопарка, графика управления запасами на АЗС в соответствии с установленными критериями. При этом агентная модель легко расширяема. Например, в перспективе могут быть созданы агенты, в которые будут заложены более детальные закономерности логистических процессов, сезонные колебания, различные модели поведения контрагентов и др.

Таким образом, разработанная система позволяет: эффективно управлять сложными потоковыми процессами в интегрированных комплексах хранения и распределения нефтепродуктов; сократить затраты на логистику нефтепродуктов и содержание автопарка; повысить качество, достоверность и сократить время на выработку и принятие рациональных решений при выборе стратегий и реализации приоритетов производственной и рыночной политики предприятий нефтепродуктообеспечения.

## Список литературы

1. Толуев Ю.И. Имитационное моделирование логистических сетей [Текст] / Ю.И. Толуев // *Логистика и управление цепями поставок*. – 2008. – № 2 (25). – С. 53-63.

2. Claudio Luiz. Development of a simulation tool to assess a petroleum company sales & operation planning [Text] / Luiz Claudio, M. Paschoal, Daniel V. Chiarini, Ivan de Pellegrin, Juliana S.G. Yonamine // *Proceedings of the 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering*. – 2005. – P. 156-162.

3. Turk Adam. Simulated Nation-Wide Consequences of Disruptions to the Petroleum Industry in the Western U.S. Gulf Coast [Text] / Adam Turk, Rashad Raynor, Thomas Corbet, Jr., Stephen Conrad // *Proceedings of R&D Partnerships in Homeland Security Conference*. – 2005. – P. 229-240.

4. Акопов А.С. Компьютерная модель транспортировки нефтепродуктов [Текст] / А.С. Акопов // *Труды*

*Ин-та системного анализа РАН*. – 2006. – Вып. 10(2). – С. 281-293.

5. Brito Robison Cris. A multiagent simulator for supporting logistic decisions of unloading petroleum ships in harbors [Text] / Robison Cris Brito, Cesar Augusto Tacla, Valéria Ramos de Lúcia // *Pesqui. Oper.* – 2010. – Vol.30, no.3. – P. 729-750.

6. Dukulis I. Optimization Models for Biofuel Logistic Systems / I. Dukulis, G. Birzietis, D. Kanaska // *Proceedings of the 7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. – Jelgava: LUA. – 2008. – P. 283-289.

Поступила в редколлегию 16.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.А. Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## АГЕНТНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Соуд Абдалазез Мохамед Амен

Запропонована агентна імітаційна модель аналізу поточкових процесів в ланцюжку поставок «мережа нафтобаз - мережа АЗС». Описано основні особливості поведінки та взаємодії агентів при моделюванні процесів доставки нафтопродуктів на АЗС. Розроблена комп'ютерна система може бути використана для прийняття рішень з ефективного управління поточковими процесами в інтегрованих комплексах зберігання і розподілу нафтопродуктів.

**Ключові слова:** нафтопродуктозабезпечення, логістика, ланцюжок постачань, агентна імітаційна модель.

## AGENT-BASED SIMULATION MODEL FOR PETROLEUM SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Soud Abdalases Mohammed Amen

We propose the agent-based simulation model for analysis of logistics in the supply chain “network of refiners - a network of gas stations”. We describe the detail of behavior and agents interaction in the simulation process of distribution petroleum products. The proposed computer system can be used to make decisions for effective management in integrated complexes of petroleum storage and distribution.

**Keywords:** petroleum supply, logistic, supply chain, agent-based simulation model.