

**АГЕНТНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ****Соуд Абдалазез Мохаммед Амен (Харьков)****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 [4]. 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 [1], 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 [2, 6]. Построенная в [2] модель охватывает процессы добычи, переработки, хранения и транспортировки сырой нефти, а также частично хранения и транспортировки нефтепродуктов и позволяет анализировать динамику 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 системы AnyLogic [4]. AnyLogic объединяет в себе преимущества моделей системной динамики, дискретно-событийного моделирования и мультиагентных технологий. Так, например, в работе [5] 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.

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 следует 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: 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 потребителям – 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, представленный 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 планах поставок нефтепродуктов (время и объем забираемого нефтепродукта). Для *CustomerAgent* 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 сделать 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 характе-

ристик 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–вовремя» 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, при этом возникает агент метауровня *DistributionAgentManager*.

*TransportationAgent* моделирует подвижной состав (одиночные автомобилицистерны, 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, 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.

### **Компьютерная система моделирования**

Разработка системы осуществлялась на базе мультиагентной платформы JADE. В предлагаемой компьютерной системе созданы: графическая среда проектирования 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, 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.

### Выводы

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.

### Литература

1. **Luiz Claudio M. Paschoal, Daniel V. Chiarini, Ivan de Pellegrin, Juliana S. G. Yonamine.** Development of a simulation tool to assess a petroleum company sales & operation planning // Proceedings of the 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 2005.
2. **Adam Turk, Rashad Raynor, Thomas Corbet, Jr., Stephen Conrad.** Simulated Nation-Wide Consequences of Disruptions to the Petroleum Industry in the Western U.S. Gulf Coast // Proceedings of R&D Partnerships in Homeland Security Conference, 2005.
3. **Robison Cris Brito, Cesar Augusto Tacla, Valéria Ramos de Lúcia.** A multiagent simulator for supporting logistic decisions of unloading petroleum ships in harbors // *Pesqui. Oper.* 2010. Vol. 30. No 3. P. 729–750.
4. **Толуев Ю. И.** Имитационное моделирование логистических сетей // *Логистика и управление цепями поставок.* 2008. № 2 (25). С. 53–63.
5. **Dukulis I., Birzietis G., Kanaska D.** Optimization Models for Biofuel Logistic Systems // Proceedings of the 7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”. Jelgava: LUA, 2008. P. 283–289.
6. **Акопов А. С.** Компьютерная модель транспортировки нефтепродуктов // *Труды Ин-та системного анализа РАН.* 2006. Вып. 10(2). С. 281–293.