

УДК 004.021::65.012.2

ББК 65.290

АЛГОРИТМ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВАМИ ДЛЯ ЕАМ-СИСТЕМ

Сухобоков А. А.¹

*(Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, Москва)*

Предложен алгоритм оптимального управления активами в рамках периода 20-30 лет для предприятий, имеющих большой парк активов. Алгоритм предполагает генерацию вариантов долгосрочного развития предприятия и их перебор с целью поиска варианта, обеспечивающего максимум суммарной дисконтированной прибыли за весь период. Варианты включают в себя проекты по приобретению и строительству новых активов и реконструкции существующих. Затем они дополняются проектами и мероприятиями по техническому обслуживанию и ремонту, соблюдению установленных ограничений. Каждый вариант разбивается на годовые интервалы, для которых рассчитываются оптимальные планы внутренних цепочек поставок. Оценка исполнимости рассчитанных планов производится с использованием имитационных и других моделей. Предложена архитектура комплекса программных средств, реализующего разработанный алгоритм.

Ключевые слова: критерий оптимизации, ограничения, портфели проектов и мероприятий, планирование внутренних цепочек поставок, модели оценки выполнимости планов, представление мастер-данных об активах.

¹ Артем Андреевич Сухобоков, кандидат технических наук, доцент (artem.sukhobokov@yandex.ru).

1. Описание проблемы

Для управления деятельностью предприятия в рамках полного цикла закупок производства и продаж давно существует классический алгоритм MRP II [7,12], а также появившиеся позднее сначала в системах SCM, а потом в составе систем ERP II приложения APS [6]. Они позволяют исчерпывающе ответить на вопросы:

- Какое сырьё и комплектующие, когда и у кого покупать?
- Что, где и когда производить?
- Кому и когда поставлять произведенную продукцию?

Их применение обеспечивает эффективную операционную деятельность предприятия. В отличие от этого, в составе современных EAM- и ERP-систем отсутствует алгоритмы и методы управления активами, позволяющие принять решения:

- Что более эффективно – строить и покупать новые активы или модернизировать существующие?
- Как распределить ресурсы на поддержку и развитие активов по отдельным направлениям?
- В каком объёме должны выполняться ремонтные работы и техническое обслуживание, чтобы исключить необоснованный пик прибыли в текущем году из-за их недофинансирования, а потом несколько лет восстанавливать утраченные активы?

Многие крупные компании, работающие в отраслях, где требуется высокий уровень капитальных затрат, владеют большим парком активов, насчитывающим десятки миллионов единиц. К таким компаниям относятся железно-дорожные компании, электрические сети, операторы проводной и беспроводной связи, вертикально-интегрированные нефтегазовые компании, химические, металлургические и другие компании, чья деятельность часто распространяется на несколько государств или даже несколько континентов. Для них активы представляют основной капитал компании, им необходимы ответы на сформулированные выше вопросы.

Сейчас бюджет на создание, приобретение и поддержку активов распределяется эмпирическими методами на основании умозрительных гипотетических предположений, используются стратегии распределения, которые "выглядят правильными". Персонал и существующие приложения не могут обеспечить оптимальную стратегию управления активами. Приведём краткий анализ используемых приложений, показывающий, что в настоящее время отсутствуют методы и приложения, позволяющие найти ответы на поставленные вопросы стратегического управления активами:

- Методы управления производством, развивавшиеся независимо от MRP II, решают только оперативные вопросы управления активами, не давая ответы на поставленные вопросы. Так, Lean manufacturing [8,11] поддерживает вывод из эксплуатации неиспользуемых активов, а Theory of constraints [25] – наращивание парка активов для преодоления узких мест. Однако в обоих случаях осуществляется ситуативное оперативное планирование в конкретных возникающих условиях. Долгосрочная стратегия управления активами не вырабатывается.
- Существующие EAM-системы решают вопросы оптимального планирования ремонтов и технического обслуживания активов, применяя для этого различные стратегии – CBM, TPM, RCM, RBM и др. [17,14,20]. Однако, даже используя продвинутые стратегии планирования технического обслуживания на основе рисков, EAM-системы не в состоянии учитывать экономические факторы, изменения спроса и производства, логистику будущих товарных потоков между производственно-технологическими комплексами. Кроме того, EAM-системы планируют затраты на техническое обслуживание для одной конкретной версии парка активов, не учитывая, что его состав – это способ достижения стратегических целей, и он может изменяться.
- Существующие системы управления проектами обеспечивают планирование и контроль исполнения проектов по проектированию активов, их строительству, рекон-

струкции, ремонту и выводу из эксплуатации. Системы управления портфелями проектов позволяют оптимизировать и балансировать состав выполняемых проектов в соответствии с операционными и финансовыми задачами организации, учитывая ограничения, накладываемые клиентами, стратегические цели и факторы внешнего мира [19,22,24]. Однако в связи с большим числом возможных вариантов развития событий, большим парком активов, их разнообразием и взаимным влиянием в ходе операционной деятельности системы управления портфелями проектов не могут сформировать оптимальную долгосрочную стратегию управления активами, и, соответственно, обеспечить её выполнение.

- Существующие системы бизнес-аналитики способны выполнять сложные запросы по анализу находящихся в хранилищах данных, строить различные визуальные представления данных, использовать имитационные модели и методы предиктивной аналитики [13,21]. Однако в настоящее время отсутствуют развитые средства бизнес-аналитики способные найти достоверные ответы на сформулированные выше вопросы. Параллельное моделирование работоспособности необходимых миллионов единиц активов с учётом разнообразных экономических сценариев и разных вариантов инициирования проектов требует, чтобы аналитическая платформа работала на базе кластера Big Data, в каждом из узлов которого моделировалась работа отдельных групп активов в конкретных условиях. Пока что на рынке отсутствуют аналитические платформы, позволяющие описывать сложную логику обработки разных сценариев работы с парком активов, которые моделируются на отдельных узлах большого кластера, и получать по ним рекомендации.

По нашему мнению, для решения вопросов, сформулированных в начале статьи, должен быть выработан формализованный подход, обеспечивающий оптимальное планирование всех операций с активами, включая проектирование, строительство и

приобретение новых активов, реконструкцию, поддержку и вывод из эксплуатации существующих активов. Разработанный оптимальный план должна быть поддержан соответствующим распределением бюджета. Данная статья содержит:

- описание такого формализованного подхода, позволяющего решать задачу оптимального управления активами с учётом перспективы 20 – 30 лет;
- алгоритм на основе предлагаемого подхода, позволяющий итеративно формировать перечень действий на ближайший период, который будет наилучшим образом соответствовать оптимальной долгосрочной стратегии управления активами;
- архитектуру комплекса приложений, позволяющего реализовать предлагаемый алгоритм.

2. Предлагаемый подход к решению задачи оптимального управления активами в течение длительного периода времени

Поскольку любой формализованный подход предполагает наличия формального критерия, по которому будут сравниваться различные варианты действий с парком активов, то в качестве этого критерия предлагаем выбрать максимум суммарной дисконтированной чистой прибыли компании на протяжении рассматриваемого периода времени. Этот критерий, на наш взгляд, позволяет наиболее точно оценить экономические успехи компании. Другие рассматривавшиеся возможные критерии: объём продаж и величина капитализации компании, с нашей точки зрения, менее подходят из-за того, что состояние парка активов оказывает меньшее влияние на значения этих показателей.

Суммарный максимум дисконтированной прибыли в течение будущих 20 – 30 позволит исключить ситуации, когда на каком-то коротком ближайшем отрезке времени будет получен пик прибыли, а потом в течение нескольких лет придётся восстанавливать утраченные из-за недофинансирования активы.

Задача максимизации выбранного критерия может быть сформулирована как некая задача оптимального управления, в которой управление осуществляется с помощью выбора выполняемых проектов и работ, связанных с развитием и поддержкой активов:

- инвестиционных проектов, обеспечивающих создание и приобретение новых активов, их реконструкцию или вывод из эксплуатации,
- инновационных проектов, обеспечивающих улучшение используемых технологий и показателей производительности активов;
- мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту активов.

Все потенциальные проекты и работы, связанные с развитием и поддержкой активов, представляют собой некое единое пространство управляющих воздействий. Для решения задачи необходимо на каждом шаге выбрать для выполнения те из них, что обеспечат максимальное значение выбранного критерия.

Помимо критерия в формулируемой задаче оптимального управления имеются ограничения. Возможные виды ограничений:

- финансовые (ставка по кредиту, курс валюты и т.п.);
- технические (надёжность работы активов, безопасность для персонала и т.п.);
- рыночные (необходимость полностью удовлетворять отдельные группы потребителей, требования к качеству продукции и т.п.);
- экологические (объёмы выбросов, ухудшение качества земель и т.п.).

Ограничения задаются извне на основе принятой стратегии развития компании и могут быть разными для разных сценариев экономического развития, каждый из которых характеризуется некоторой вероятностью. Показатели в сценариях могут быть представлены в динамике и региональной детализации.

При структуризации пространства управляющих воздействий необходимо учитывать различия в капиталоемкости и

прибыльности разных направлений деятельности компании. Для этого мы предлагаем использовать метод управления портфелями – сформировать несколько групп портфелей, каждая из которых содержит число портфелей, равное числу направлений деятельности компании:

- В первой группе каждый портфель, связанный с конкретным видом деятельности, содержит мероприятия и работы, связанные с техническим обслуживанием и обеспечением работоспособности активов, задействованных в этом виде деятельности.
- Во второй группе каждый портфель, связанный с конкретным видом деятельности, содержит все инвестиционные и инновационные проекты и мероприятия по активам, задействованным в этом виде деятельности, влияющие на состав и характеристики парка активов.
- В третьей и последующих группах каждый портфель, связанный с конкретным видом деятельности, содержит все инвестиционные и инновационные проекты и мероприятия по активам, задействованным в этом виде деятельности, обеспечивающие изменение значений показателей, учитываемых в одном из ограничений. Для каждого устанавливаемого ограничения показателя формируется своя группа портфелей. Например, одна группа портфелей - для мероприятий и проектов по обеспечению технической безопасности и сокращению числа несчастных случаев, вторая группа портфелей - для мероприятий и проектов, обеспечивающих защиту экологической среды, и т.д.

При формировании портфелей в ходящим в них проектам, работам и мероприятиям должны быть присвоены наборы характеристик, различающиеся для каждой группы портфелей:

- В портфелях первой группы, связанных с техническим обслуживанием и обеспечением работоспособности активов, каждый элемент портфеля будет характеризоваться затратами на его реализацию и набором значений на которые уменьшается вероятность возникновения от-

дельных видов отказов у конкретных видов активов после проведения данной работы. Это позволяет ранжировать элементы портфелей по эффективности профилактических работ для конкретных видов активов.

- В портфелях второй группы, связанных с изменением состава парка активов и характеристик отдельных активов, все проекты и мероприятия должны характеризоваться с помощью показателей необходимых затрат и потенциально получаемых доходов. Это позволит ранжировать их по IRR [10] в составе портфеля, чтобы иметь оценку их эффективности с точки зрения целевого критерия оптимизации.
- В портфелях третьей и последующих групп, связанных с изменением показателей, учитываемых в одном из ограничений, все элементы должны описываться с помощью показателей необходимых затрат и влияния на учитываемый в ограничении показатель. Это позволит ранжировать элементы портфелей по эффективности с точки зрения соблюдения ограничения.

Между элементами внутри отдельных портфелей и между элементами разных портфелей могут устанавливаться зависимости по исполнению, определяющие, что конкретный проект/мероприятие/работа не могут начать выполняться, пока не будут выполнены все проекты/мероприятия/работы, от которых данный элемент зависим, как это показано на рис. 1.

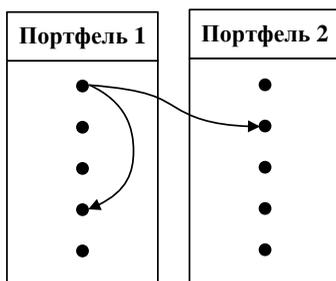


Рис. 1. Пример зависимостей между проектами находящимися в одном и в разных портфелях.

При таких условиях, бюджет, выделяемый для каждого портфеля на конкретный период можно рассматривать как некоторую переменную управления. На рис. 2 приведен пример набора портфелей проектов по изменению состава парка активов и характеристик активов вертикально-интегрированной нефтяной компании.

Переменные управления S_i , содержащие значения размера бюджета каждого портфеля, однозначно определяют состав проектов, которые будут выполняться (зона мелкой штриховки) и которые будут отложены (зона крупной штриховки).

Общий перечень бюджетов всех сформированных портфелей определяет размерность полного пространства переменных управления.

Для компаний, занимающихся производством материальной продукции, в состав портфелей должны входить все проекты/мероприятия/работы, связанные с материальными активами (зданиями, сооружениями, оборудованием, земельными участками, строящимися объектами и т.д.) и их составными частями, а также с производственными нематериальными активами (программными системами, базами данных и т.д.).

Если компания в процессе своей деятельности использует какие-либо природные ресурсы, как это имеет место в случае нефтяной компании, то доступные природные ресурсы обязательно должны рассматриваться как активы компании. В первую очередь, это обусловлено тем, что компания может по-разному их использовать. В случае невозобновляемых ресурсов можно, используя экстенсивную стратегию, забрать с минимумом затрат легко доступные запасы, а можно, наоборот, прикладывать дополнительные усилия, чтобы максимально извлечь труднодоступные запасы. Возможно также и большое число различных промежуточных вариантов. Точно также, в случае возобновляемых ресурсов (земля для сельскохозяйственного производства, лес) можно затрачивать или не затрачивать усилия на их возобновление, и возможны различные промежуточные варианты. Выбор тех или иных вариантов будет регулироваться установленными ограничениями.

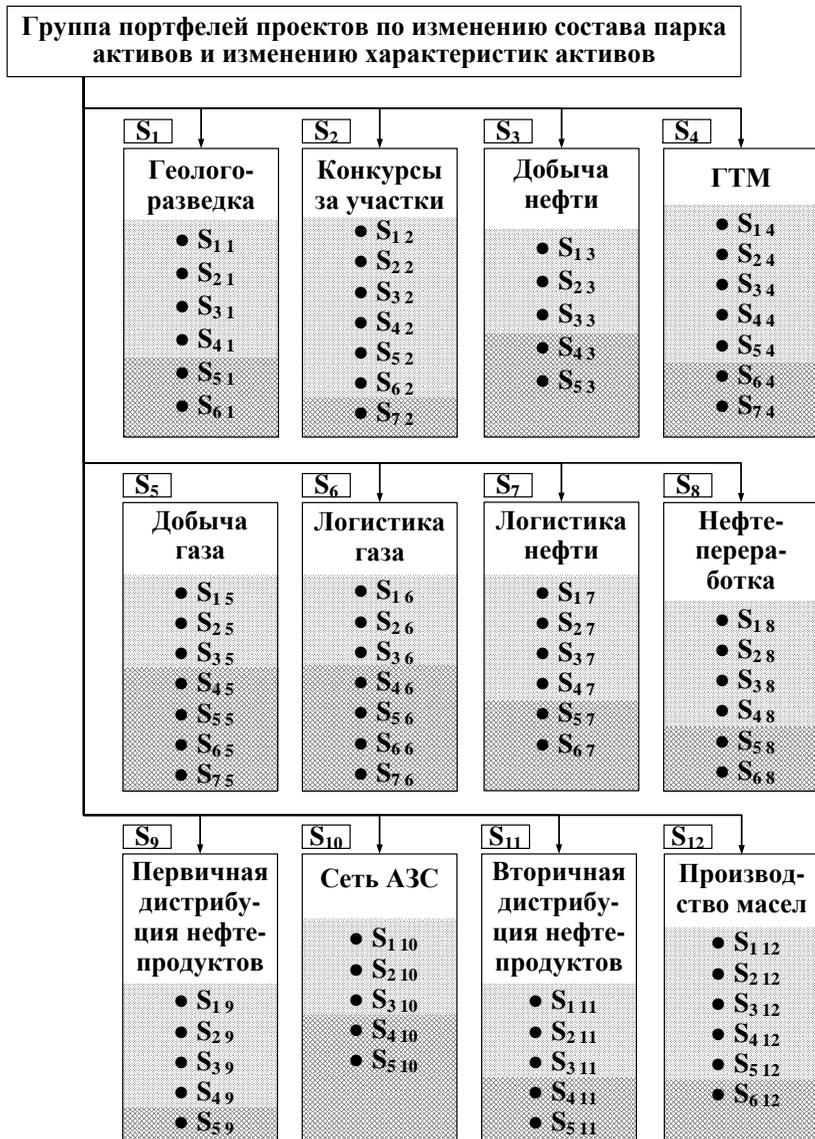
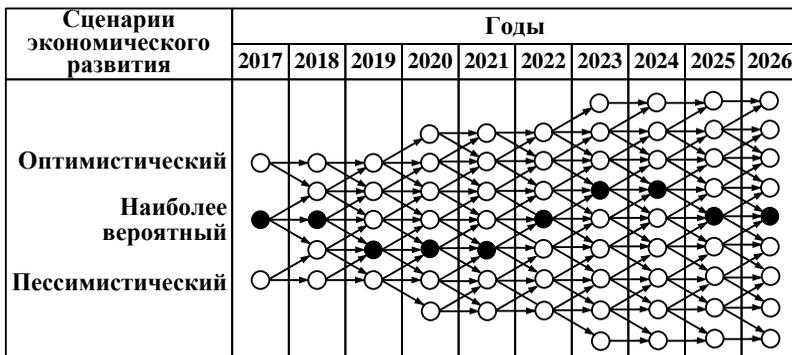


Рис. 2. Пример набора портфелей проектов по развитию активов вертикально-интегрированной нефтяной компании.

Различные проекты и мероприятия, связанные с активами должны размещаться на временной шкале, образуя варианты долгосрочного развития. Чтобы как-то целенаправленно перебирать возможные варианты долгосрочного развития компании необходимо их некоторым образом систематизировать и разбить на более мелкие отрезки времени. Предлагаем далее считать, что каждый рассматриваемый вариант долгосрочного развития представляет собой последовательность годовых периодов от ближайшего планируемого периода до последнего периода, заканчивающего интервал времени оптимального планирования.

На рис. 3 показано общее множество рассматриваемых годовых периодов при длительности каждого из интервалов долгосрочного развития 10 лет. Такое ограничение длительности использовано, чтобы рисунок не был слишком мелким. Один конкретный вариант долгосрочного развития для наглядности выделен цветом.



Обозначения:

- - Годовой период оптимизационного расчёта цепочек поставок
- - Годовой период оптимизационного расчёта, входящий в выбранный вариант долгосрочного развития
- - Переход с определённой вероятностью от одного годового расчёта цепочек поставок к следующему

Рис. 3. Множество анализируемых годовых периодов и выделенный вариант долгосрочного развития

При этом на рис. 3 показано весьма пологое возрастание числа рассматриваемых вариантов при движении по оси времени. Реальные вероятности переходов могут вызывать более резкий рост числа возможных сценариев экономического развития от года к году. Это, а также общий срок анализа 20 – 30 лет дают потенциально очень большое число рассматриваемых вариантов долгосрочного развития.

Каждый конкретный вариант долгосрочного развития представляет собой не просто цепочку годовых интервалов, для которых заданы по регионам ожидаемые показатели объёмов спроса на продукты компании и другие показатели, но и определяет точки ввода в эксплуатацию и вывода из эксплуатации конкретных производственно-технологических комплексов, как это показано на рис. 4.

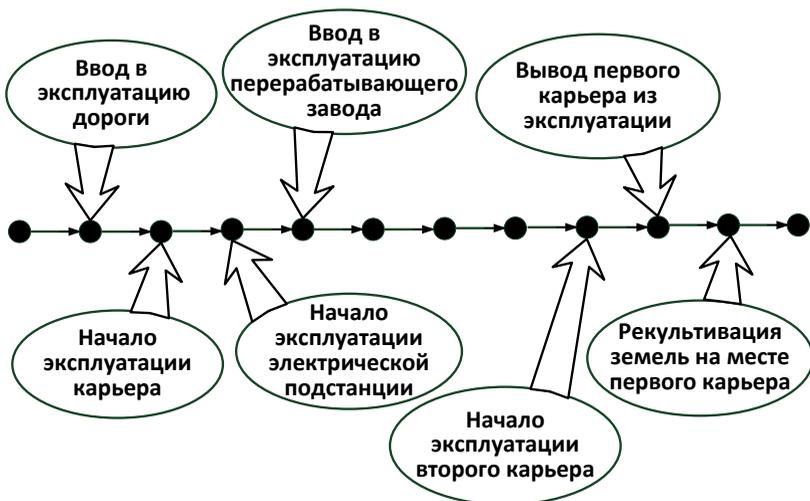


Рис. 4. Вариант долгосрочного развития с указанием основных изменений в составе парка активов

Типы создаваемых, приобретаемых и выводимых из эксплуатации активов и их основные характеристики определяются в портфелях проектов, обеспечивающих изменение парка соответствующих активов, как результаты выполнения этих проек-

тов. Для того чтобы какой-то актив появился к конкретному сроку на долгосрочном варианте, заранее, исходя из длительности проекта, должен быть начат соответствующий проект, и на его выполнение должны быть выделены соответствующие ресурсы.

Находящиеся в одном портфеле разные проекты на создание или приобретение активов могут иметь своим результатом создание различных или одинаковых производственно-технологических комплексов в разных регионах. Также они могут планировать создание производственных мощностей для совершенно разных сценариев развития, например, создавать мощности по добыче сырья или создавать перевалочный центр для получения сырья морским путём из-за рубежа. Наполнение варианта долгосрочного развития конкретными активами производится сразу при его генерации исходя из рыночных параметров и прогнозов спроса в сценарии экономического развития, на основе которого порождается этот конкретный вариант. Для каждого сценария анализируется много вариантов долгосрочного развития и выбирается наилучший.

Из-за большого числа параметров, нелинейности задачи и вероятных разрывов целевой функции для нахождения глобального оптимума целесообразно, чтобы разные варианты долгосрочного развития анализировались параллельно.

При порождении вариантов долгосрочного развития механизм порождения должен получать результат оценки каждого варианта долгосрочного развития. Это позволит, не выполняя полный перебор:

- осуществлять целенаправленный поиск долгосрочного варианта развития, при котором целевой функционал (суммарная дисконтированная прибыль по всем периодам) имеет максимальное значение;
- идентифицировать области, в которых не выполняются ограничения, и исключать их из рассмотрения;
- идентифицировать модель управления и выделять области, где возможен максимум критерия оптимизации;

- находить оптимальное решение, и проводить расчёты в его ближайших окрестностях для оценки устойчивости найденного оптимального варианта в условиях неполной и быстро меняющейся информации, принимая во внимание проектные риски и случайные факторы, свойственные экономической среде в целом.

3. Методы оптимального планирования деятельности компании в течение года

Для того, чтобы оценить, какая программа производства и продаж будет выполняться в рамках каждого годового периода планирования в составе рассматриваемого варианта долгосрочного развития, необходимо, исходя из уже известного состава производственно-технических комплексов и известных оценок спроса, сформировать план закупок, производства и продаж. Т.е. надо спланировать все цепочки поставок сроком на один год. Пример такой цепочки показан на рис. 5.

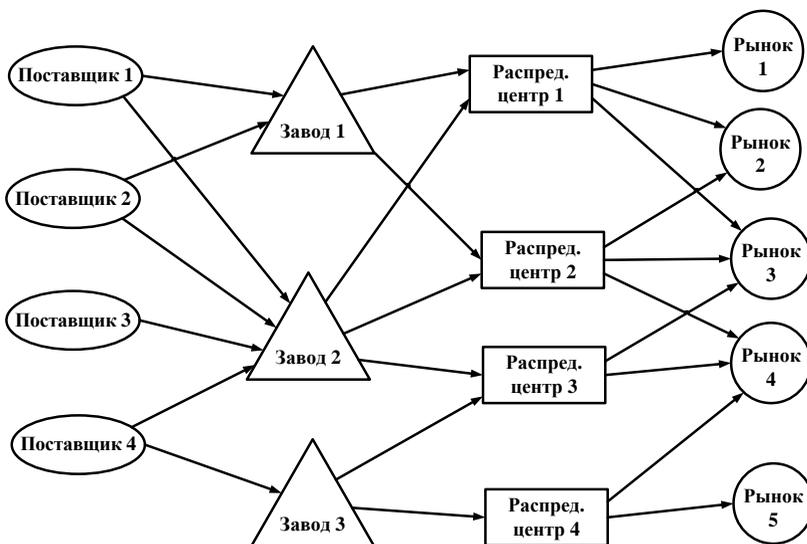


Рис. 5. Пример цепочки поставок для компании, имеющей одно-стадийное производство продукции

Показанный на рисунке 5 пример цепочек поставок является относительно простым:

1. Перемещение товаров происходит только в одном направлении: от поставщиков к заводам, оттуда к распределительным центрам готовой продукции и от них в рыночные зоны. Однако во многих компаниях и отраслях могут существовать особенности, которые требуют более сложной логистической схемы. Например:
 - необходимо возвращать и утилизировать товары, отработавшие свой ресурс, как это делается во многих странах для автопокрышек и аккумуляторов;
 - необходимо обеспечить логистику возвратов продукции, от которой после покупки отказались потребители, в случае товаров массового спроса;
 - из-за несовпадения запланированного и фактического спроса может возникать целесообразность перемещать товарные запасы между распределительными центрами.
2. На представленном примере производство выполняется в одну стадию – из сырья сразу выпускается готовая продукция. Однако в реальных компаниях всё может быть сложнее:
 - компания может заниматься дистрибуцией и не иметь собственного производства, только логистические центры;
 - часто производство осуществляется в две стадии – из исходного сырья на заводах первого передела производятся полуфабрикаты, а потом из них на заводах второго передела производятся конечные продукты;
 - в компаниях чёрной металлургии используется три передела (производство чугуна, производство стали, производство проката). В газохимии встречается ещё большее число переделов;
 - имеются предприятия, у которых производство строится комбинированным образом – часть конечных

продуктов выпускается по однопредельной схеме, а часть по двухпредельной.

3. На представленном примере имеется всего один эшелон центров дистрибуции между заводами и рыночными зонами. Однако промежуточные логистические центры могут использоваться и между поставщиками и заводами, а также между заводами, выполняющими разные стадии производства при многостадийном производстве. Более того, в каждом случае может существовать не один эшелон логистических центров, а несколько. Например, когда исходное сырьё от поставщика транспортируется по морю, то может использоваться складской центр в порту отправки и второй - в порту получения.

Для того, чтобы планировать оптимальные цепочки поставок в рамках годовых периодов для широкого спектра предприятий, необходимо, чтобы механизм планирования был способен решать эти задачи, учитывая все перечисленные варианты организации производства и структуры товаропотоков.

Для построения оптимальных цепочек поставок давно используются методы линейного программирования [9]. С их помощью можно определить Объёмы товаропотоков по каждому транспортному маршруту, которые обеспечат максимум прибыли компании. Линейные модели позволяют учесть большое число параметров:

- предельные производственные мощности каждого поставщика, каждой производственной площадки и каждого логистического центра;
- расходование ресурсов (мощности) каждой площадки при производстве единицы конкретного вида сырья / полуфабрикатов / продукции;
- затраты на приобретение единицы сырья у внешних поставщиков;
- постоянные (капитальные) затраты на добычу / распределение / производство на каждой площадке;

- переменные затраты на добычу / распределение / производство на каждой площадке в зависимости от объёма добычи / распределения / производства при различных коэффициентах величины переменных затрат для этой площадки, действующих на разных интервалах объёма;
- количество материалов, необходимых для производства единицы конкретного вида продукции / полуфабриката на каждой площадке;
- себестоимость технологических потерь и технологических запасов товаров различных видов, необходимых для работы отдельных площадок;
- транспортные затраты на разных маршрутах при различных способах транспортировки;
- ограничения на пропускную способность отдельных транспортных маршрутов;
- запланированный спрос на конечные продукты в рыночных зонах;
- рыночные цены конечных продуктов в разных рыночных зонах;
- нормативы на естественную убыль в процессе перевалки, транспортировки и хранения, которые имеются для нефтепродуктов, газа, многих видов пищевых продуктов и продукции химических производств. Эти нормативы зависят от применяемых способов транспортировки, перевалки и хранения и, следовательно, могут быть индивидуальными для отдельных транспортных маршрутов и складов;
- сроки годности товаров, которые устанавливаются для многих товаров, в частности, пищевых продуктов и продукции фармацевтической промышленности.

Модели оптимизации цепочек поставок могут строиться исходя из разных принципов, например:

- Необходимо обеспечить обязательное удовлетворение всех потребностей клиентов во всех рыночных зонах.
- Найденный оптимальный план производства и транспортировки не обязательно должен удовлетворять все

заявки клиентов, необходимо максимально эффективно использовать имеющиеся активы.

- Различные промежуточные варианты, когда необходимо обеспечивать обязательное удовлетворение всех потребностей только отдельных клиентов, с которыми подписаны долгосрочные контракты специального вида, гарантирующие полное удовлетворение заявок.

Однако, если добывающие, производственные и распределительные мощности компании располагаются в разных государствах, как это представлено на примере той же структуры цепочек поставок на рис.6, или в разных экономических зонах, различающихся по налогообложению, то модели линейного программирования не обеспечивают необходимой оптимизации цепочек поставок [26,18].

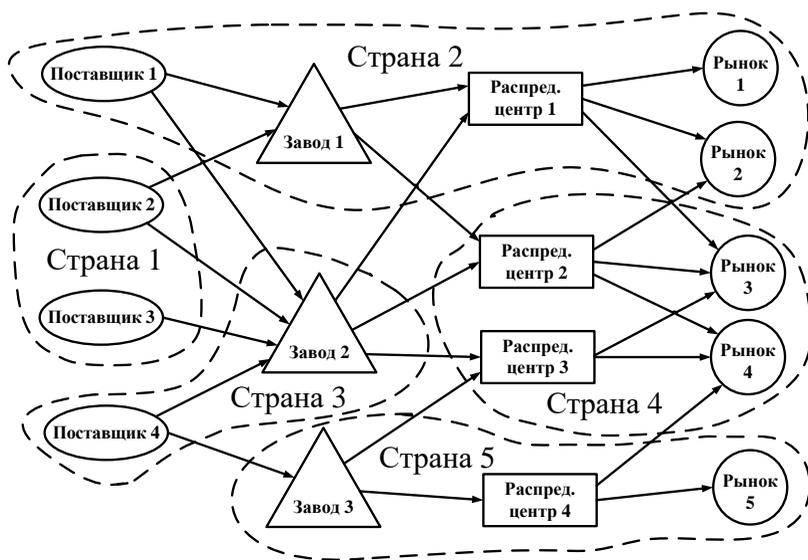


Рис. 6. Пример цепочки поставок для глобальной компании, имеющей одностадийное производство продукции, дочерние компании которой располагаются в разных государствах

Это возникает потому, что в разных странах действует разное законодательство и разные ставки налогообложения. Для оптимизации таких цепочек поставок используются билинейные модели, где в качестве критерия максимизации выступает прибыль глобальной компании, а в качестве переменных используются не только объёмы транспортировок, но и трансфертные цены между отдельными дочерними компаниями. Это даёт возможность использовать в ограничениях слагаемые вида $C * X$, где C – переменная, обозначающая трансфертную цену, а X – переменная, обозначающая товаропоток по конкретному транспортному маршруту.

Дополнительные параметры билинейных моделей оптимального планирования цепочек поставок по сравнению с линейными:

- импортные и экспортные пошлины;
- ставки налога на прибыль в разных странах;
- допустимые диапазоны трансфертных цен на различные товары в соответствии с законодательствами разных стран.

При этом билинейные модели оптимизации цепочек поставок могут учитывать различные условия, в которых функционируют реальные цепочки поставок:

- в зависимости от места регистрации головной компании, она по законодательству будет платить налоги на прибыль, перечисляемую из дочерних компаний, или нет;
- в законодательствах разных стран может регламентироваться или нет размер прибыли дочерних компаний. В некоторых странах законодательно установлены ограничения, по которым если прибыль меньше некоторого зафиксированного процента, на компанию накладываются штрафы;
- локальные законодательства могут требовать, чтобы трансфертные цены на один и тот же товар устанавливались одинаковыми для конкретной дочерней компании независимо от того, кому она производит поставки. На практике, мультинациональные компании могут согла-

совывать с налоговыми органами несколько значений трансфертной цены на один и тот же продукт при его отпуске на разные рынки, например, на рынок Латинской Америки и на азиатско-тихоокеанский рынок;

- импортные налоговые пошлины, которые платятся импортёрами, могут рассчитываться исходя из цен импортируемых товаров по контрактам CIF или по контрактам FOB;
- импортные пошлины на одну и ту же продукцию одного и того же завода могут быть различными в связи с применением в локальных законодательствах правил происхождения продуктов, учитывающих, что эта продукция производилась из разного сырья;
- в локальных законодательствах могут действовать различные локальные правила возврата импортной пошлины.

Билинейные модели необходимо использовать при планировании внутренних цепочек поставок мультинациональных компаний, но и для мононациональных компаний в ряде отраслей, связанных с непрерывным производством, таких как переработка нефти и газа, химические производства. Это обусловлено тем, что в этих случаях из одного сырья в одной и той же установке при разных режимах переработки может быть получено разное количество полуфабрикатов и конечных продуктов. Мат. модель цепочек поставок, включающая такую установку, будет описывать несколько виртуальных установок по числу возможных режимов работы и переменные коэффициенты, которые определяют долю времени использования установки в каждом режиме. По своей математической сути это тоже - билинейная задача.

Если нефтяная компания, владеющая нефтеперерабатывающими заводами, имеет дочерние компании в разных странах, то для оптимизации её цепочек поставок необходимо использовать трилинейную мат. модель.

Описанные линейные, билинейные и трилинейные модели покрывают большинство потребностей при оптимизации цепочек поставок. Однако существуют случаи, которые требуют

применения специальных моделей. Например, если компания занимается производством и сбытом электроэнергии, модель цепочек поставок в этом случае должна описывать электрическую сеть. Моделирование электрических сетей требует применения специализированных моделей и специальных программных средств [2,5]. В качестве других случаев, когда потребуется применять специальные типы моделей, можно привести обеспечение доступа абонентов к сотовой связи или телевизионному сигналу, переброску водных ресурсов по сети каналов, или такую экзотику, как обеспечение пресной водой за счёт буксировки айсбергов из Антарктики.

В случае, когда деятельность компании диверсифицирована, и отдельные направления не пересекаются, целесообразно будет использовать несколько параллельно работающих моделей для оптимизации цепочек поставок, чтобы не строить единую громоздкую. Поддержка одновременной работы двух и более моделей абсолютно необходима, если требуются модели разных типов. Например, когда мультинациональный холдинг имеет активы в области электроэнергетики, добычи и переработки нефти и машиностроения для нефтедобычи. Явно придётся выделить отдельно модель электрической сети, поскольку требуется модель специального типа, а для того, чтобы оценить целесообразность использования общей или отдельных моделей для бизнесов по добыче и переработки нефти и энергетическому машиностроению, необходим анализ, насколько тесно они интегрированы между собой.

Потребность в одновременном использовании нескольких моделей для оптимизации цепочек поставок может возникнуть не только в крупных мультинациональных компаниях, но и в национальных холдингах, объединяющих компании из нескольких отраслей. В качестве примера можно привести холдинг по управлению государственными активами Республики Казахстан, находящийся под контролем правительства, - Акционерное общество «Фонд национального благосостояния «Самрук-Қазына» [1]. В числе прочих активов Фонд владеет:

- национальной компанией по добыче и транспортировке, нефти и газа;

- национальной компанией по генерации электроэнергии на базе тепловых и гидроэлектростанций, включая крупные разрезы по добыче угля;
- национальной компанией по управлению электрическими сетями;
- национальной железно-дорожной компанией.

Подвоз угля и мазута на электростанции осуществляется железнодорожным транспортом. Для того, чтобы эффективно развивать такой комплекс активов и планировать его загрузку нужно четыре параллельно работающих модели цепочек поставок. Это обусловлено тем, что закупка и ремонт железно-дорожного подвижного состава, ремонт и строительство железно-дорожных путей и станций относительно слабо пересекается по поставщикам и транспортным маршрутам с деятельностью нефтяной компании и энергетической компании. Железная дорога для них является транспортным средством. Электросетевая компания должна иметь свою собственную систему оптимизации цепочек поставок из-за необходимости использовать специальные методы моделирования. Модели цепочек поставок энергетической и нефтяной компании тоже желательно разделить, поскольку они хотя и связаны между собой, но у каждой из них большая часть товаропотоков и потребителей не пересекаются.

4. Предлагаемый подход к оценке реализуемости сформированных планов

После того, как мы определились с моделями оптимизации внутренних цепочек поставок, необходимо рассмотреть методы проверки выполнимости сгенерированных оптимальных планов поставок и соблюдения установленных ограничений. Для этого предлагается использовать набор специально предназначенных для этого моделей.

Для оценки работоспособности технических и инфраструктурных активов и оценки соблюдения ограничений представляется целесообразным использовать комплекс имитационных моделей. Применение имитационных моделей для оценки влия-

ния различных стратегий технического обслуживания на работоспособность активов и их способность обеспечить потребности пользователей предлагалась ещё в [28]. Развивая этот подход, мы предлагаем, чтобы каждая имитационная модель имитировала работу отдельного актива. Группа таких моделей позволит охватить все компоненты отдельного производственно-технологического комплекса. Для того чтобы полностью задать модель одного типа активов, необходимо определить:

- все виды отказов, возникающих у этого типа активов;
- статистическое распределение появления каждого типа отказов;
- последствия, к которым приводит возникновение каждого типа отказов, как с точки зрения показателей и работоспособности актива, так и с точки зрения событий и показателей, регламентируемых ограничениями;
- все виды ремонтных и профилактических работ для данного типа активов;
- влияние проведения каждого вида ремонтных и профилактических работ на статистику появления каждого вида отказов.

В течение всего годового периода, на который планировалась цепочка поставок, моделируется воздействие потоков отказов на компоненты производственно-технологического комплекса.

Проводимые в соответствии с выделенным бюджетом работы по техническому обслуживанию и ремонту на какой-то период уменьшают вероятности отказов или восстанавливают работоспособность компонентов, а также уменьшают вероятности событий, регламентируемых ограничениями. Инновационные проекты могут увеличить производительность производственно-технологического комплекса или изменить характеристики потоков отказов. Инвестиционные проекты инициируют появление новых групп имитационных моделей.

После многократного прогона имитационных моделей для каждого производственно-технологического комплекса, задей-

ствованного в спланированной цепочке поставок, формируется статистически достоверные оценки:

- способности комплекса выполнить объём работ, задаваемый оптимальным вариантом цепочек поставок;
- показателей, регламентируемых ограничениями.

При имитационном моделировании состояния активов в пределах годового периода необходимо фиксировать состояние активов по окончанию года и моделирование следующего годового периода в рамках одного варианта долгосрочного развития начинать именно с этого состояния. Это позволит учитывать влияние выполненных работ по ремонту и техническому обслуживанию активов на их последующую работоспособность.

Для оценки возможностей природных активов необходимо использовать другие виды моделирования. Например, для оценки результатов выполнения некоторого набора проектов по освоению нефтяного месторождения необходимо использование гидродинамических моделей. Каждая гидродинамическая модель обеспечит прогноз нефтеотдачи конкретного месторождения в течение требуемого интервала времени, учитывая выполнение всех проектов по бурению, ремонту скважин и проведению геолого-технологических мероприятий на этом месторождении.

В случае управления активами нефтяной компании включение гидродинамических моделей и соответствующих симуляторов в состав создаваемого комплекса обусловлено невозможностью заранее спрогнозировать результаты совместного выполнения различных проектов из-за возникающего большого числа вариантов. Можно рассчитать результаты каждого отдельного проекта при заданных начальных условиях. Однако проекты, выполняемые на одном и том же месторождении, влияют на результативность друг друга. Поэтому общий объём добычи можно определить, только имея конкретный перечень проектов, определяемый выбранным вариантом долгосрочного развития.

Примерно похожая ситуация имеет место и на месторождениях полезных ископаемых, добываемых в твёрдом состоянии. Различные проекты строительства и модернизации шахт и

карьером могут иметь своей целью добычу пересекающихся объёмов полезных ископаемых. Необходимо использовать геологическую модель месторождения, чтобы прогнозировать результаты выполнения разных проектов.

Для восстанавливаемых природных активов (сельскохозяйственных земель, лесов, рыбных промыслов и др.) также необходимы свои специфические модели, которые позволят оценить объём получаемых ресурсов в зависимости от начального состояния актива, проводимых мероприятий и общих тенденций изменения природной среды.

Результаты совместного моделирования с использованием всего необходимого набора моделей позволят сформировать оценку реализуемости спланированных цепочек поставок.

5. Общий алгоритм решения задачи

Для поиска ответов на поставленные в начале статьи вопросы мы предлагаем следующий циклический алгоритм, представленный на рис. 7, один полный цикл которого должен завершаться в начале каждого этапа планирования, на котором распределяется бюджет, и определяются детальные планы работ.

По аналогии с алгоритмом MRP II [27] предлагаемый алгоритм предполагает генерацию и перебор большого числа вариантов долгосрочного развития с отбрасыванием не осуществимых и сохранением нескольких наиболее удачных, удовлетворяющих всем ограничениям и соответствующих разным сценариям экономического развития.

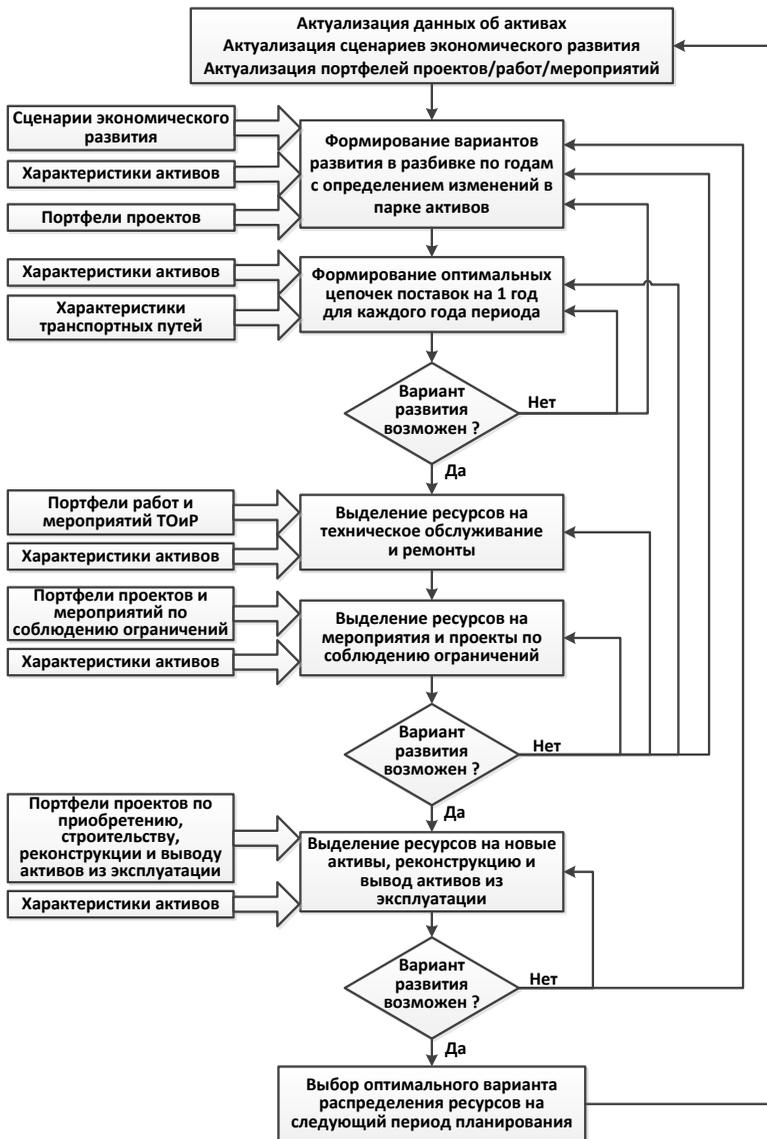


Рис. 7. Алгоритм оптимального планирования работ по приобретению, созданию, реконструкции, техническому обслуживанию и выводу активов из эксплуатации

Предполагается, что алгоритм и реализующий его комплекс приложений работают непрерывно, реализуя скользящее планирование. После завершения одного полного цикла переборочных производятся вывод найденного оптимального плана действий и распределения бюджета на ближайший период (квартал или месяц). Найденный план начинает использоваться в деятельности компании, бюджет на ближайший период распределяется в соответствии с найденным оптимальным распределением, а алгоритм возвращается к началу, для того, чтобы планировать следующий период.

На первом шаге производится актуализация данных об активах, сценариях экономического развития и портфелях проектов/работ/мероприятий. После этого на втором шаге начинается генерация вариантов долгосрочного развития. Каждый рассматриваемый вариант долгосрочного развития представляет собой последовательность годовых периодов от ближайшего планируемого периода до последнего периода, заканчивающего интервал времени оптимального планирования. По мере того как заканчивается очередной год и сдвигается начальный период годового планирования, конечный период также смещается, обеспечивая постоянную величину используемого интервала времени прогнозирования при оптимальном управлении активами.

Каждый вариант долгосрочного развития начинается с текущего состояния активов, но они все будут развиваться абсолютно по-разному из-за разных сценариев развития и вероятностного характера откликов имитационных моделей.

Первая проверка реализуемости сформированного варианта долгосрочного развития производится после расчёта годовых планов цепочек поставок. Если возникнут ситуации, что в какой-то момент начинают отсутствовать необходимое сырьё или исчезает спрос на производимую продукцию, то такие варианты отбрасываются. Возврат будет выполняться сначала на этап формирования оптимальных годовых цепочек поставок. Например, для того, чтобы переключиться с добычи сырья на его закупку из внешних источников, или, чтобы переключиться на производство другой продукции. В случае, если это невозмож-

но, возврат осуществляется на этап генерации нового варианта долгосрочного развития.

Если вариант долгосрочного развития проходит первую проверку на допустимость, производится планирование работ и мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам, а также планирование проектов и мероприятий по соблюдению ограничений. Планирование начинается с наиболее экономичных вариантов, требующих меньшего количества ресурсов. Если на каком-то гоовном периоде не окажется активов, способных выполнить спланированную годовую программу, производится переход на повторное планирование работ и мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам с выделением на эти цели большего объёма ресурсов. Если на каком-то годовом периоде будут нарушены ограничения, производится переход на планирование проектов и мероприятий по соблюдению ограничений с выделением большего объёма ресурсов.

Оценка результатов двух указанных шагов планирования производится с помощью комплекса имитационных и других моделей. Из-за высоких требований такой проверки к вычислительным мощностям результаты обоих шагов планирования оцениваются совместно. В случае, если дальнейшее увеличение ресурсов на техническое обслуживание и ремонты наталкивается на ограничение, производится переход к повторному формированию годовых цепочек поставок. А если это не помогает, вариант долгосрочного развития отбрасывается и происходит переход к генерации нового варианта долгосрочного развития.

После определения минимально необходимого объёма ресурсов для технического обслуживания и ремонтов, а также соблюдения ограничений, все оставшиеся ресурсы используются для планирования проектов по приобретению, строительству и реконструкции новых активов, а также выводу активов из эксплуатации. После распределения ресурсов делается оценка, будут ли инициированы все проекты, чтобы на последующих годовых периодах появились все необходимые новые активы. Если необходимые для последующих периодов активы не появляются, делается попытка повторно распределить ресурсы на проекты. В случае исчерпания возможностей для перераспреде-

ления вариант отбрасывается и происходит переход к генерации нового варианта долгосрочного развития.

6. Архитектура программного комплекса

Для реализации описанного в предыдущем разделе алгоритма предлагается использовать следующие программные средства:

- Основной модуль управления, реализующий алгоритм долгосрочного управления активами;
- Функциональные модули:
 - Модуль планирования вариантов долгосрочного развития;
 - Модуль планирования технического обслуживания и ремонтов;
 - Модуль планирования мероприятий и проектов по соблюдению ограничений;
 - Модуль планирования строительства, реконструкции, приобретения и вывода активов из эксплуатации;
 - одна или набор из нескольких Систем оптимизации внутренних цепочек поставок;
 - один или набор из нескольких Комплексов моделирования состояния активов для оценки реализуемости планов;
- Информационно обеспечивающие модули:
 - Система ведения сценариев экономического развития;
 - Система управления портфелями проектов и мероприятий;
 - Система управления мастер-данными об активах.

Основной модуль управления, реализующий алгоритм долгосрочного управления активами организует работу всех функциональных модулей, как это показано на рис. 8. Модуль планирования вариантов долгосрочного развития генерирует эти варианты, состоящие из последовательностей годовых периодов. Остальные функциональные модули работают с одним

годовым периодом в составе варианта долгосрочного развития, детализируя и проверяя планы работ на этот период.



Рис. 8. Взаимодействие Основного модуля управления, реализующего алгоритм долгосрочного управления активами, с функциональными модулями

Среди информационно-обеспечивающих модулей важную роль играет Система управления мастер данными об активах. Она должна предоставлять несколько разных представлений мастер-данных об активах:

- для процесса долгосрочного планирования (используются при описании проектов и в вариантах долгосрочного развития);
- для формирования оптимальных товаропотоков в системах оптимизации цепочек поставок;

- для выделения ресурсов на техническое обслуживание и ремонты;
- для выделения ресурсов на мероприятия и проекты по соблюдению ограничений;
- для моделирования динамики состояния активов;
- для выделения ресурсов на новые активы, реконструкцию и вывод активов из эксплуатации.

Эти представления мастер-данных будут различаться по уровню детализации активов, принципам выделения активов, хранимым характеристикам активов и связям активов между собой. Поясним это на примерах:

- Производственно-технологический комплекс с точки зрения среднесрочного планирования будет представлен как единый актив с набором показателей производительности, постоянных и переменных затрат и пр. С точки зрения же оценки затрат на техническое обслуживание и ремонт производственно-технологический комплекс будет представлен как набор взаимосвязанных единиц оборудования, каждая со своими характеристиками возникновения отказов, видами технического обслуживания и пр.
- Нефтегазовое месторождение для оценки выполнимости планов с помощью имитационной модели потока отказов может быть представлено как совокупность кустов скважин и установленного на них наземного и погружного оборудования, которое опускается в скважины на разные уровни. Для решения этой же задачи с помощью гидродинамической модели – месторождение будет представлять собой набор располагающихся в трёхмерном пространстве нефтеносных и газоносных пластов.

В каждом показанном случае различные представления будут описывать один и тот же парк активов. Подобная ситуация типична для систем управления мастер-данными об активах [3]. При этом необходимость использования разных представлений мастер-данных об активах для одних и тех же физических объектов может возникнуть не только вследствие применения

разных моделей для прогнозирования состояния активов, но и в рамках одной модели. Очень наглядным примером является набор параллельно используемых разных представлений какого-нибудь небоскрёба, детализированных по этажам:

- общестроительное описание;
- описание лифтового хозяйства;
- описание средств кондиционирования воздуха и вентиляции;
- описание средств водопровода и канализации;
- описание средств отопления;
- описание средств электроснабжения;
- описание средств пожарной и охранной сигнализации;
- описание средств связи и сетевого оборудования;
- описание внутренних интерьеров;
- описание использования (распределение помещений между арендаторами или структурными подразделениями владельца).

Применение системы управления мастер-данными об активах должно обеспечить синхронизацию различных представления мастер-данных об одних и тех же активах и устранить возможные противоречия между ними. Это даст возможность не допустить снижения качества данных и сократит затраты на их поддержку в актуальном состоянии.

Система управления портфелями проектов должна обеспечить ведение всех портфелей проектов и мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам, соблюдению ограничений, строительству, приобретению, реконструкции активов и выводу их из эксплуатации.

Общая схема выдачи данных из информационно-обеспечивающих систем в функциональные модули представлена на рис. 9.



Рис. 9. Общая схема выдачи данных из информационно-обеспечивающих систем в функциональные модули

Ведущая мировая аналитическая компания Gartner традиционно ежегодно выпускает два независимых аналитических обзора по разным классам MDM-систем. Эта традиция была сохранена и в 2015 году [16,15]. Системы управления мастер-данными об активах отдельно не рассматриваются в этих обзорах. Они относятся к широкому классу MDM-систем с данными о предметах (продуктах, материалах, активах, запасных частях и др.) и, считается, что на них, в том числе, распространяется обзор [16], в отличие от MDM-систем с данными о командах (сотрудниках, клиентах, организациях, и т.д.), на которые распространяется обзор [15].

В качестве основного направления развития MDM-систем в [16] рассматривается создание MDM-систем для работы с дан-

ными более чем одной предметной области (применительно к теме данной статьи – не только с мастер-данными об активах). Наряду с доминирующими сейчас однодоменными MDM-системами, предназначенными для работы с данными одной предметной области (например, с данными о клиентах или данными о продуктах), пока ещё мало распространены, но быстро расширяются сегменты мультидоменных и мультивекторных MDM-систем. Мультидоменные системы предназначены для работы с данными нескольких предметных областей. Несмотря на то, что пользователи хотели бы иметь возможность работать с любыми предметными областями в любом месте и любым способом, существующие мультидоменные MDM-системы ориентированы на одну якорную область данных. В данный момент мультидоменные MDM-системы – это [16]:

- MDM-системы для работы с одной предметной областью, имеющие расширенные ссылки на другие предметные области;
- MDM-системы для работы с одной предметной областью, в которые добавлено большое число атрибутов и иерархий, чтобы поддержать локальные бизнес-процессы или приложения;
- несколько одновременно установленных MDM-систем для разных предметных областей, часто от разных поставщиков, объединённых внешним интерфейсом.

Концепция мультивекторных MDM-систем расширяет понятие мультидоменных MDM-систем. Помимо работы с разными предметными областями мультивекторные MDM-системы должны быть способны работать в разных отраслях, при разных сценариях использования (проектирование структур, операционные или аналитические MDM-системы), для разных организационных структур (централизованная, федеративная, локализованная) и при разных сценариях внедрения MDM-системы (регистровая, консолидационная, в режиме сосуществования и централизованная). По прогнозу Gartner [16], мультивекторные MDM-системы сменят мультидоменные и однодоменные не ранее, чем через пять лет.

Из приведенного краткого описания мультидоменных и мультивекторных MDM-систем очевидно, что MDM-системы, создаваемые в рамках основного направления развития этого класса продуктов, не могут обеспечить требуемую в нашем случае синхронизацию различных представлений одного и того же парка активов. Необходимо развитие специализированных однодоменных MDM-систем для управления мастер-данными об активах, которые будут способны решить эту задачу. И только после того, как они будут реализованы и докажут на реальных внедрениях свою работоспособность и эффективность, можно будет планировать перенос этих возможностей в мультидоменные системы.

Отсутствие в настоящий момент на рынке системы управления мастер-данными об активах, способной обеспечить необходимую для нашей задачи синхронизацию различных представлений мастер-данных об одном и том же парке активов, подтверждается также обзорами аналитической компании Forester. В первом квартале 2016 года компания выпустила обзор [23], в котором выделила четыре класса MDM-систем и проанализировала продукты двенадцати компаний. Были выделены:

- MDM-системы, обеспечивающие интеграцию данных и решающие стандартные задачи;
- мультидоменные MDM-системы и MDM-системы, поддерживающие множество представлений мастер-данных;
- контекстуальные MDM-системы, поддерживающие семантическое представление бизнес-данных;
- аналитические MDM-системы, интегрированные внутри аналитических платформ.

Из четырёх представленных классов MDM-систем, сформулированные нами проблемы должны решаться в группе мультидоменных MDM-систем и MDM-систем, поддерживающих множество представлений мастер-данных. В качестве лидеров этой группы выделены SAS, SAP и IBM. У этих компаний в настоящий момент нет MDM-систем, способных обеспе-

чить управление мастер-данными об активах в требуемом для решения нашей задачи ключе.

7. Технологическая архитектура

Комплекс программного обеспечения, реализующий алгоритм долгосрочного управления активами, целесообразно создавать с использованием кластеров Big Data [4], которые могут состоять из большого числа серверов, каждый из которых выполняет обработку некоторой части данных, размещаемых в собственной внешней памяти. Этот подход позволит:

- параллельно выполнять большое число процессов имитационного моделирования потоков отказов технических активов;
- параллельно выполнять процессы поиска локальных максимумов билинейных и трилинейных задач оптимизации внутренних цепочек поставок в условиях наличия разрывов оптимизируемой функции;
- решать задачи гидродинамического моделирования для оценки нефтеотдачи месторождений или другие задачи, требующие ресурсоёмких параллельных численных расчётов.

Полная реализация всего программного обеспечения, реализующего алгоритм долгосрочного управления активами, на базе кластеров Big Data позволит параллельно просчитывать различные варианты долгосрочного развития и увеличит число рассматриваемых вариантов в поисках наилучшего из них.

Литература

1. АО «ФОНД НАЦИОНАЛЬНОГО БЛАГОСОСТОЯНИЯ «САМРУК-ҚАЗЫНА» // АО «Самрук-Қазына», URL: <http://sk.kz/?lang=ru> (дата обращения 17.08.2016)
2. КОНОНОВ Ю.Г. *Разработка методов моделирования режимов распределительных электрических сетей на базе современных информационных технологий*. Дис-

- сертация на соиск. уч. ст. д.т.н. // Северо-Кавказский Гос. Ун-т, Ставрополь, 2001, 390 с.
3. Система управления мастер-данными об активах // Optimal Management LLC, URL: <http://optimalmngmnt.com/page34en.htm> (дата обращения 17.08.2016)
 4. СУХОБОКОВ А.А., ЛАХВИЧ Д.С. Влияние инструментария *Big Data* на развитие научных дисциплин, связанных с моделированием //Электрон. журн. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 03, с. 207–240, URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/761354.html> (дата обращения 17.08.2016)
 5. Центр моделирования электроэнергетических систем // ВНИИР, URL: <http://www.vniir.ru/production/cat/cat/abs-vniir-analiz.pdf> (дата обращения 17.08.2016)
 6. *APICS Dictionary*, 13th edition, Ed.: John H. Blackstone Jr., Ph.D., CFPIM, Jonah's Jonah, APICS: 2011, 164 p.
 7. ARORA P. *Material Management* // Global India Publications Pvt Ltd, New Delhi, India, 2009, 192 p.
 8. ASEFESO A. *Lean Six Sigma (Cost Reduction Strategies)* // AA Global Sourcing Ltd, 2012, 166 p.
 9. GOETSCHALCKX M. *Supply Chain Engineering* //Springer, 2011, 682 p.
 10. *Internal Rate Of Return – IRR* // Investopedia, URL: <http://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp> (дата обращения 17.08.2016)
 11. *Just-in-time manufacturing* // Seen2, URL: [http://www.seen2.com/learn?s=Just_In_Time_\(business\)](http://www.seen2.com/learn?s=Just_In_Time_(business)) (дата обращения 17.08.2016)
 12. LANDVATER D.V., GRAY C.D. *MRP II Standard System. A handbook for Manufacturing Software Survival* // Essex Junction, VT : Oliver Wight, c1989, xxiv, 349 p.
 13. *Magic Quadrant for Advanced Analytics Platforms* // Gartner, 09 February 2016, ID:G00275788, Analysts: Kart L., Herschel G., Linden A., Hare J., URL: [37](https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-</div><div data-bbox=)

- 2YEVU8U&ct=160210&st=sb (дата обращения 17.08.2016)
14. *Magic Quadrant for Energy and Utilities Enterprise Asset Management Software* // Gartner, 15 September 2015, ID:G00270950, Analyst: Eriksen L., URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2MTYCSC&ct=150910&st=sb> (дата обращения 17.08.2016)
 15. *Magic Quadrant for Master Data Management of Customer Data Solutions* // Gartner, 11 November 2015, ID:G00271783, Analysts: O'Kane B., Judah S., URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2QQLU21&ct=151027&st=sb&mkt_tok=eyJpIjoiTTJJd1ptRTJZVEU0TIRWaCIslInQiOiJlK3dCb01HMTFFbHVpa3VMcDhucWhERjNQXC9xbHBrUm5KREJUUDMyNDhlRU5XT2dxNVwvanc4YnJLcjdlUThsd09KT0VXUllxRnBzOWJCK3FGM3NzNzlkMk9mT2c3RkF2TjZlTmkxWkFETlwwOD0ifQ%253D%253D (дата обращения 17.08.2016)
 16. *Magic Quadrant for Master Data Management of Product Data Solutions* // Gartner, 12 November 2015, ID:G00271935, Analysts: White A., O'Kane B., Palanca T., Moran M.P., URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2S5EG8G&ct=151112&st=sb&mkt_tok=eyJpIjoiWm1NellUbGlOVEZtVWdFNClslInQiOiJzMU9QVltpMkxOQjFzQzVcLzU5OFNlNnpJTnhNeGtxZHJodHhmR2V4bmRHNEdMYkVcL25EMjJtN0Q5MXh0d1hMWEZyWHZqTXl6NU0yQThlNiQ1bktrY2hrOEwREl4bitGbTFjNUZHZZvZaFlvPSJ9 (дата обращения 17.08.2016)
 17. MATHER D. *The Total EAM Vision Strategic Advantages in Asset Management* // Technologyevaluation, URL: <https://www.technologyevaluation.com/research/article/The-Total-EAM-Vision-Strategic-Advantages-in-Asset-Management.html> (дата обращения 17.08.2016)
 18. PERRON S., HANSEN P., Le DIGABEL S., MLADENOVIC N. *Exact and heuristic solutions of the global supply chain problem with transfer pricing*

- //European Journal of Operational Research, 2010, vol. 202, issue 3, p. 864-879
19. *PPM (project and portfolio management)* // TechTarget, URL: <http://searchcio.techtarget.com/definition/PPM-project-and-portfolio-management> (дата обращения 17.08.2016)
 20. PRABHAKAR D.P., RAJ J.V.P. CBM, TPM, RCM and A-RCM - A *Qualitative Comparison of Maintenance Management Strategies* // IJMBS Vol. 4, Issue 3, July - Sept 2014, P. 49-56, URL: <http://www.ijmbs.com/Vol4.3/8-Deepak-Prabhakar-P.pdf> (дата обращения 17.08.2016)
 21. *Prognoz Platform 8. Online documentation* // Prognoz, URL: http://help.prognoz.com/en/help.htm#mergedProjects/Intro/architecture/inf_delivery_analysis.htm#Modelling (дата обращения 17.08.2016)
 22. *Project Portfolio Management: A View from the Management Trenches* / EPMC, Inc.: Stratton M.J.; Wybraniec M.; Tekumalla S.; Stabler M.; Retna S.; Miller D.D.; Gosnear M.; Jenner S.; Mee M.; Menke M.M. // Wiley, 2009, 252 p., ISBN 978-0470505366
 23. *The Forrester Wave™: Master Data Management, Q1 2016* / Goetz M. // Forrester, March 16, 2016, 18 p., URL: https://www.informatica.com/resources.asset.3f99759cd3d66341230383b7b7613424.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiTXpReU5UUmNemxtWkRjMyIsInQiOiIwYiY1RlYiV2NTBHa3AwTG5XMlF6Q1E3OGY5elpFakdMTVpoaDARs1B3T2Y4dUY4eVNIT25WSjhrREZCZWxUSzBkVm-IEUEg1b2NQOW4xU2Y2ZFoyVWxlSHhVbmtGM2JNaHl4VWk3UnRIQnNiRT0ifQ%3D%3D (дата обращения 17.08.2016)
 24. *The Forrester Wave™: Portfolio Management For The Tech Management Agenda, Q1 2015* / Visitacion M., Barnett G. // Forrester, March 18, 2015 | Updated: April 28, 2015, URL: http://go.planview.com/rs/587-QLI-337/images/The_Forrester_Wave___Port.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiTXpReU5UUmNemxtWkRjMyIsInQiOiIwYiY1RlYiV2NTBHa3AwTG5XMlF6Q1E3OGY5elpFakdMTVpoaDARs1B3T2Y4dUY4eVNIT25WSjhrREZCZWxUSzBkVm-IEUEg1b2NQOW4xU2Y2ZFoyVWxlSHhVbmtGM2JNaHl4VWk3UnRIQnNiRT0ifQ%3D%3D

- IjoiTVRWa1pXSXdNelZsTjJJMSIsInQiOiJoTm9kZUd0TjY3YmY1Z0d6TmJ4T2V1OWtnV1c0bnE4Nkc4Y1psakdqRWhxTE4zR2lWcWNcL01tVDI5cUUxM05EN0sxb2E4dzd6aUZkOEt5VW5Od2tqYTQ2OWFJcm03YnlNRnlhRkQ0XC9WNFljPSJ9 (дата обращения 17.08.2016)
25. *Theory of constraints (TOC) // Six Sigma Study Guide*, April 17, 2014, URL: <http://sixsigmastudyguide.com/theory-of-constraints/> (дата обращения 17.08.2016)
 26. VIDAL C.J., GOETSCHALCKX M. *A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation // European Journal of Operational Research*. 2001. No. 129. p. 134-158.
 27. WALDER J.-B. *CIM: Principles of Computer Integrated Manufacturing // John Wiley & Sons Ltd.*, 1992, 206 p.
 28. WENZLER I. *Development of an asset management strategy for a network utility company: Lessons from a dynamic business simulation approach // Simulation & Gaming* March 2005, vol. 36, #1, p.75-90. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.985&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 17.08.2016)

AN STRATEGIC ASSET MANAGEMENT ALGORITHM FOR EAM SOLUTIONS

Artem Sukhobokov, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Cand.Sc., assistant professor (artem.sukhobokov@yandex.ru).

Abstract: Optimal asset management algorithm within 20-30 years period is proposed for enterprises that have large asset fleet. The algorithm involves the generation of variants of long-term development of the enterprise and iterate over them in order to find a maximum of the total discounted profit for the period. Variants include projects for the acquisition and construction of new assets and reconstruction of existing ones. Then they are supplemented by the projects and activities of maintenance and repair as well as

constraint satisfaction. Each variant is divided into yearly intervals, for which optimal internal supply chain plans are calculated. Feasibility assessment of calculated plans is produced using simulation and other models. The architecture of the software system that implements the developed algorithm is proposed.

Keywords: optimization criterion, constraints, project and activity portfolios, internal supply chain planning, models of plans' feasibility assessment, asset master data representation.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*