ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Антикризисное управление

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И КРИТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ МОЩНОСТЕЙ*

Евгений Юрьевич ХРУСТАЛЁВ[a,*], Константин Константинович КОТЛУКОВ[b]

[a]доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,
Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Российская Федерация
[b]аспирант кафедры экономико-математического моделирования, Российский университет дружбы народов,
Москва, Российская Федерация
k.kotlukov@gmail.com

[*] Ответственный автор

История статьи:
Принята 22.06.2015
Одобрена 27.06.2015

УДК 338.32.053.4

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, планирование, производство, многоагентное моделирование

Аннотация

Предмет и тема. Предприятия оборонно-промышленного комплекса в их текущем состоянии, особенно в связи со значимостью данной области для России, требуют к себе повышенного внимания. Их развитие является одним из приоритетных направлений, и существует множество долгосрочных проектов в этой сфере. Исследовано, какие действия можно предпринять в ближайшей перспективе для повышения эффективности предприятий ОПК, используя имеющиеся ресурсы.

Цели и задачи. Существующие системы планирования, включая зарубежные предложения, в большинстве своем не отвечают требованиям российских предприятий ОПК. В связи с этим была предпринята попытка разработки концептуальной модели оптимизации производственного планирования с применением идей многоагентного моделирования, учитывающей особенности целевой группы.

Методология. Проведен анализ текущей ситуации на предприятиях ОПК, на основании которого сформированы основные требования к разрабатываемой модели планирования. С использованием последних наработок в области многоагентного моделирования сформулирована концепция системы планирования производства.

Результаты. Разработана концептуальная модель многоагентной системы планирования, способной функционировать в условиях критической загрузки мощностей, обладающая возможностью реагировать на изменяющиеся условия окружения в кратчайшие сроки.

Выводы и значимость. Разработанная концепция учитывает специфику технологически сложного производства ОПК, поэтому ее применение может привести к повышению эффективности производства на предприятиях.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2015

Современные реалии российского производства таковы, что зачастую предприятиям приходится работать в условиях дисбаланса мощностей между звеньями производственной цепочки, нехватки мощностей и крайне высокой не только внешней, но и внутренней неопределенности [1, 2]. Особенно остро эта проблема проявляется на предприятиях ОПК, так как большинство из них, имея богатый опыт в рамках плановой системы СССР, были вынуждены перестраиваться под изменившиеся условия современного мира. К сожалению, эти процессы не всегда проходили с достаточной эффективностью [3], что привело ко многим проблемам, оставшимся нерешенными. Подобную ситуацию регулярно можно наблюдать на предприятиях постсоветского пространства.

Одной из таких проблем является работа в условиях высокой неопределенности, которая обусловлена несколькими факторами. Среди них можно выделить ненормированную производительность труда, связанную не только с производственным персоналом, но и с уменьшающейся надежностью оборудования, вызванной его износом, а также невысокую надежность поставщиков, многие из которых находятся в схожих ситуациях, что вызывает мультипликативный эффект негативных последствий нерешенных проблем. Регулярные конструкторские изменения, появляющиеся уже

* Статья подготовлена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 14-18-00519).

после запуска партии в производство, также усиливают неопределенность. Несмотря на то, что такая ситуация не является особенной при мелкосерийном производстве, применяемые на российских предприятиях системы планирования зачастую не способны адекватно реагировать на постоянно меняющиеся условия производства [4], что приводит к следующей проблеме – недостаткам системы планирования.

При текущем преобладании мелкосерийного производства повсеместное использование советского подхода к планированию, рассчитанного на массовое производство, не обеспечивает требуемой эффективности производства [5]. Например, к этому приводит низкая точность планирования, допускающая свободный порядок производства в рамках планируемого периода, который в большинстве случаев равняется месяцу, что ведет к рассинхронизации производственной цепочки и требует больших усилий со стороны управляющего персонала для дополнительного контроля за совокупной производительностью. Также при создании плана отсутствует проверка его выполнимости как по входящим компонентам или материалам, так и по удельной мощности [6].

Рассмотрим типовую ситуацию – полное выполнение плана требует 200%-ной мощности цеха, при этом четверть позиций невыполнима, так как не хватает материала. В итоге цех выполнит план в пределах доступных мощностей лишь наполовину, без учета потребности других цехов, стоящих в производственной цепочке. В данном случае производственный цикл будет увеличен относительно плана не только из-за недостаточной производительности, но и из-за задержки последующих цехов, не получивших в срок необходимые комплектующие.

Еще одним примером служит регулярное отсутствие внутрицехового планирования, которое отдается на откуп руководству цеха. Однако такой подход требует выровненной мощности всей производственной цепочки, так как при межцеховом планировании используется исключительно суммарная мощность цеха, без разделения на специальности персонала или типы оборудования, что может приводить к ситуации, когда на одну бригаду приходится большая часть цехового плана, в то время как остальные едва загружены. Последствием подобного подхода является эффект бутылочного горлышка в производственной цепочке, выявление которого в подобной ситуации требует кропотливого анализа и дополнительной работы по контролю как процесса планирования, так и производства.

Отсутствие баланса мощностей производственной цепочки подводит к третьей проблеме, которая не является прямым следствием недостатков системы планирования, но ими усугубляется – это критическая загрузка мощностей. Она нарастает снежным комом, когда недостача прошлых периодов добавляется к плану текущего, что еще больше усиливает влияние проблем, описанных ранее. В дополнение к нарастающей недостаче ситуацию усугубляет стремление заключить как можно больше контрактов без глубокого анализа их выполнимости, что приводит к наслоению нескольких заказов на один производственный «слот». Предварительный анализ выполнимости контракта в текущих условиях является крайне трудоемким процессом, из-за чего его точность зачастую неудовлетворительна, что и приводит к данной проблеме.

Решение каждой из этих проблем требует различного подхода [7], однако их можно объединить в единой системе планирования производства, сократив негативные последствия перечисленных факторов. С неопределенностью можно бороться двумя способами – заранее готовиться к различным вариантам или реагировать на возникающие ситуации с наименьшей задержкой и наибольшей эффективностью на момент принятия решения. В текущих условиях более применимым видится повышение скорости и качества реакции на изменения в обстановке [8], так как для полноценной подготовки к различным сценариям неопределенность слишком высока. Для решения проблем системы планирования требуется пересмотреть ее основы с учетом изменившейся идеологии производства [9] и существующих технических проблем на предприятии, а также заложить возможность анализа загрузки производственных мощностей в планируемом периоде. Этот функционал поможет в ликвидации узких мест производственной цепочки [10], а для исправления ситуации с перегрузкой из-за дополнительных заказов новая система должна в разумные сроки позволять проводить автоматический анализ выполнимости потенциального контракта.

Для решения обозначенных проблем предлагаемая система планирования должна обладать следующими характеристиками:

– обеспечивать работу в соответствии с подходом «производство под заказ» (Make to Order);

– составлять расписание, используя гибридную стратегию CONWIP (Constant Work in Progress – постоянная работа);
– производить сквозное планирование, без разделения на межцеховые и внутрицеховые планы;
– оперировать максимально возможным уровнем детализации, когда объектами планирования являются конкретные станки или бригады;
– исходить из наличия и плановых дат поступления материалов и комплектующих;
– создавать выполнимый план с четкой последовательностью действий для каждого объекта планирования;
– работать достаточно быстро, чтобы производить полное перепланирование как минимум один раз в день с учетом последних изменений;
– учитывать промежуточные состояния выполняемых работ, таких как «начато производство», а также закрывать работы частично.

Большинство из этих характеристик являются очевидным следствием описанных ранее решений проблем, однако один из пунктов стоит рассмотреть отдельно. Речь идет о стратегии CONWIP. Она является гибридной push-pull стратегией [11], при которой объемы и плановые даты завершения производства определяются существующей потребностью, но в отличие от чистой стратегии «вытягивания» (Pull), где каждая операция должна быть выполнена как можно позже для минимизации складских запасов, только начало производства откладывается на максимально поздний срок, а после этого производство «проталкивается» (Push) вперед по цепочке и операции выполняются, как только это становится возможным, обеспечивая максимально эффективную загрузку оборудования и снижая риски срыва сроков заказа, при этом сохраняя сниженные расходы на хранение [12]. Сравнение стратегий представлено на рис. 1.

Для достижения обозначенных характеристик планирование может проходить по обобщенному алгоритму.

1. Все открытые на данное время внешние заказы распределяются ответственным лицом по группам приоритета.
2. На основании контрактных обязательств и технологических сроков производства изделий определяются относительные сроки запуска заказов в производство.
3. С чистого листа создается расписание производства для приоритетной группы заказов без привязки к конкретным календарным датам, следуя стратегии CONWIP (рис. 2).
4. Последовательно добавляются группы заказов с меньшим приоритетом, занимая свободные производственные мощности (рис. 3).

Рисунок 1

Сравнение стратегий Push, Pull, CONWIP

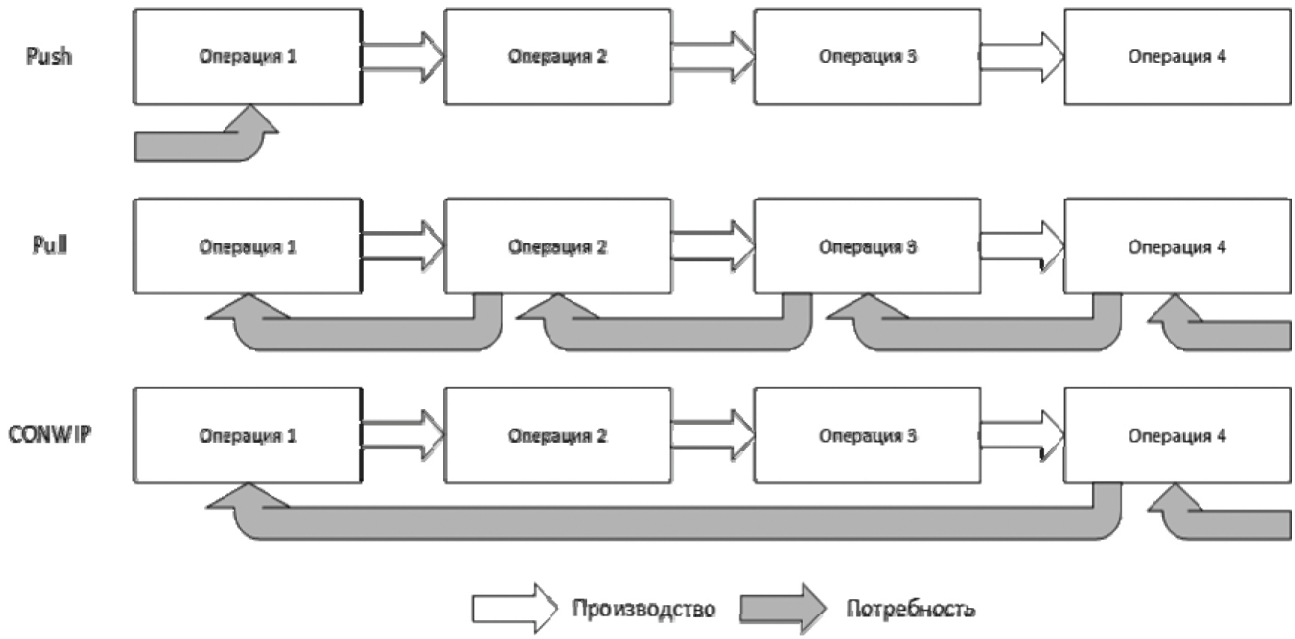


Рисунок 2

Первый шаг создания плана

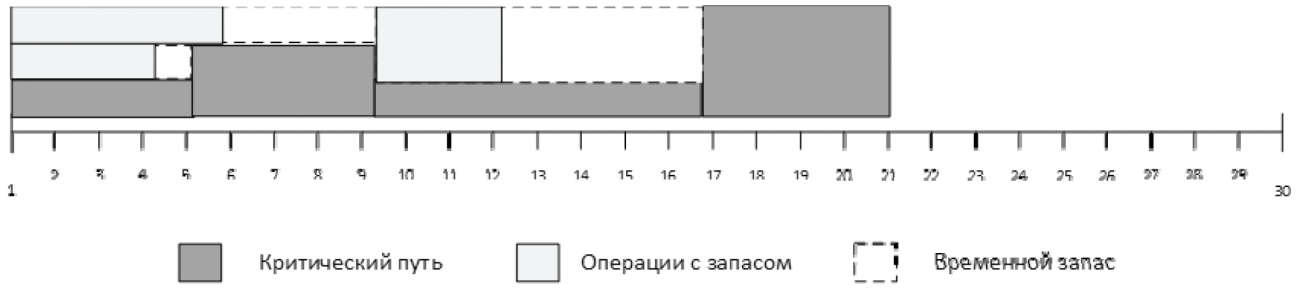
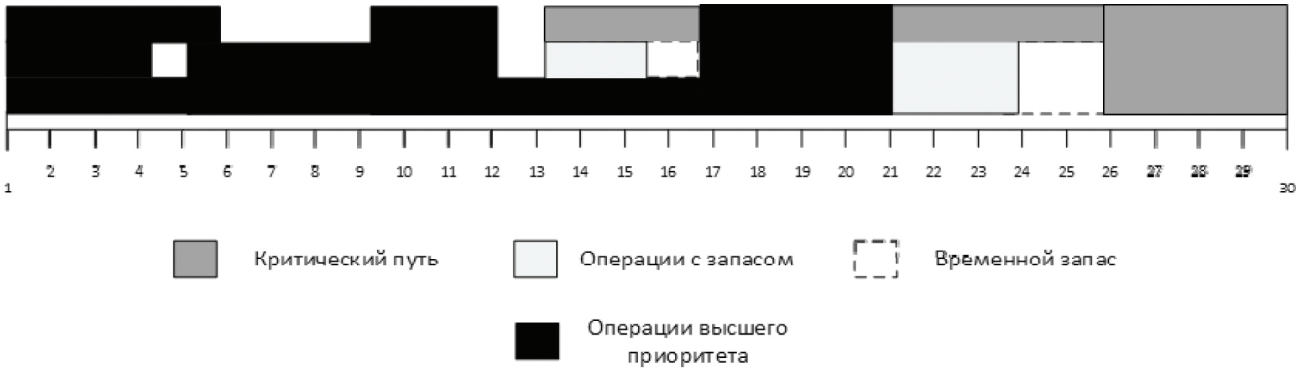


Рисунок 3

Дальнейшее планирование

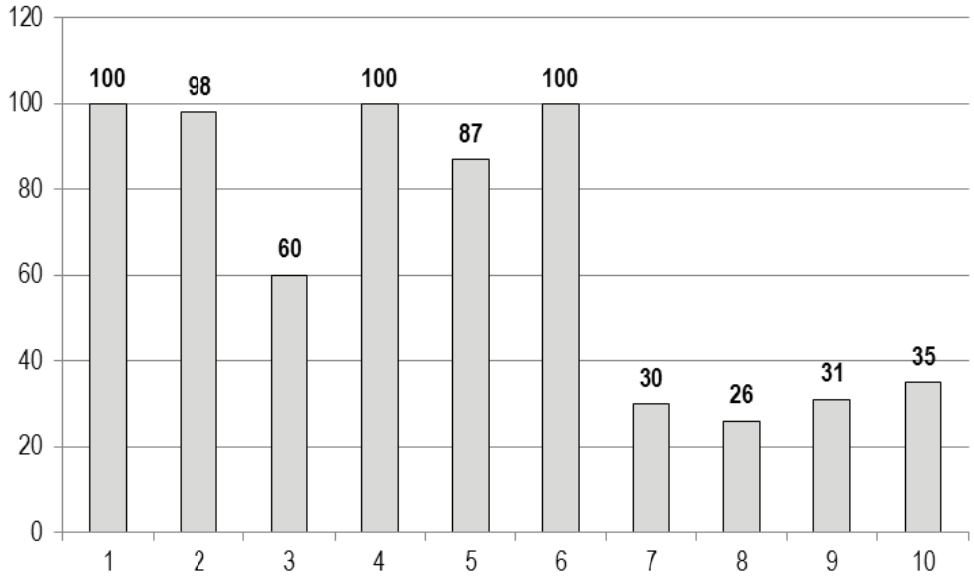


5. Сформированный план накладывается на календарь, начиная с «сегодня». В случае, если плановые даты сдачи всех заказов находятся раньше контрактных, то план смещается вперед до первого совпадения дат по любому из заказов.
6. Создается график загрузки мощностей по производственной цепочке для анализа и корректировки выполнения плана (рис. 4).

Анализ плана можно проводить как по одному заказу, так и по всему перечню в целом, что может показать различные аспекты производственной

Рисунок 4

График загрузки мощностей, %



системы. При этом следует обращать внимание на несколько ключевых моментов, в определении которых подспорьем может послужить теория ограничений (Theory of Constraints) [13]. В ее основе лежит нахождение и управление ключевым ограничением системы, которое предопределяет успех и эффективность всей системы в целом. Основной особенностью методологии является то, что делая усилия над управлением очень малым количеством аспектов системы, достигается эффект, намного превышающий результат одновременного воздействия на все или большинство проблемных областей системы сразу. Например, если на графике загрузки наблюдается спад после определенного элемента производственной цепочки, то это может свидетельствовать о наличии участка, чья производительность недостаточна для поддержания среднего темпа. Для разрешения этой ситуации можно временно ввести удлиненную или организовать дополнительную смену работы и в то же время начать разрабатывать долгосрочный метод увеличения производительности участка. В обратном же случае, когда производительность превышает предшествующие и последующие участки, возможно, имеет смысл реорганизация данной единицы для перераспределения мощностей или сокращения расходов [14].

Для реализации предлагаемой системы наиболее оптимальным видится применение технологии многоагентного моделирования, так как будучи по своей сути децентрализованной и динамической системой, область производственного планирования является наиболее подходящей сферой приложения данной технологии [15]. Производственные системы должны быть способны к гибкому и адаптивному поведению, а агентная модель должна быть достаточно устойчивой, чтобы справиться со сложностью системы. Существует мнение, что многоагентный подход обладает необходимыми качествами для планирования операций и управления работой подобных систем [16].

Общая концепция модели представляет собой аукцион как наиболее часто встречающийся механизм распределения в рыночной системе. В своей простейшей форме аукцион представляет собой схему, при которой заинтересованные стороны предлагают свою цену за интересующий объект, выставленный на торги продавцом [17]. В конце торгов продавец выбирает лучшую ставку, основываясь на значимых критериях, и объект получает покупатель, предложивший лучшую цену. Цена объекта также является частью аукционного механизма. Недавно был представлен новый вид аукционного механизма, известный как комбинаторный аукцион [18]. Комбинаторные аукционы позволяют участникам торгов рассматривать не один интересующий объект, а несколько объектов одновременно. Итерационные комбинаторные аукционы позволяют участникам торгов сделать несколько ставок. В таком случае аукцион проходит в несколько этапов, а участники могут сделать по одной ставке для каждого раунда торгов согласно правилам аукциона. Агенты, действующие в рамках данной модели, представлены следующими архетипами: заказ на изделие, диспетчер типа изделия, операция, координатор торгов, исполнитель, планировщик.

Заказ на изделие представляет собой агента, обладающего базовыми знаниями о заказе, который он олицетворяет. В перечень его знаний входят тип изделия, список необходимых модификаций, плановая дата закрытия контракта, группа приоритета, к которой данный заказ относится, а также перечень невыполненных операций. Популяция рассматриваемого агента равна количеству открытых производственных заказов, а его активация проходит группами по приоритету. Функционал данного агента заключается в создании диспетчера на основании одного из шаблонов по типам изделия и передачи ему своих знаний, а также в информировании планировщика о завершении процесса распределения. Разделение на заказ и диспетчера сделано для экономии ресурсов и унификации внутренней структуры агентов.

Диспетчер типа изделия, обладая информацией о полном дереве производства подконтрольного ему типа изделия, необходимых модификациях под заказ и ходе выполнения заказа, создает новых агентов «операция» с полной информацией о ней. В данном случае под операцией подразумевается некая непрерываемая последовательность действий на единице оборудования. Также рассматриваемый агент ведет перечень уже запланированных операций со сроками и использованным оборудованием, который он использует при дальнейших действиях. Операции создаются на каждом этапе исходя из критерия их выполнимости (если все входящие операции уже запланированы), запроса от заказа и активных альтернатив. Информация об операции состоит из длительности работ, используемого оборудования, планового срока ее закрытия и срока, не раньше которого ее можно начать. Срок закрытия изначально

рассчитывается исходя из плановой даты закрытия заказа, но пересчитывается после планирования первой операции на «критическом пути» дерева производства, используя ее за отправную точку производства [19]. Такое поведение обусловлено использованием стратегии CONWIP и введено ради выравнивания сроков производства операций по заказу в случае его смещения относительно контрактных обязательств. Срок начала является плановой датой завершения последней входящей операции с учетом технологического простоя после изготовления, если такой имеется. Также информация об операции может содержать срок, не позже которого ее необходимо начать, что может быть обусловлено технологическими особенностями производства и «сроком годности» входящих. В случае его наличия данный срок стоит использовать вместо срока сдачи при расчете приоритетности операции, а также вести дополнительную проверку его выполнения. Если деталь не удалось запланировать в рамках «срока годности», то последний раунд торгов аннулируется и выбирается альтернативный маршрут. Этот цикл повторяется до тех пор, пока это условие не будет удовлетворено, вне зависимости от того, сколько раундов придется отменить.

Альтернативными операциями считаются те, чью приоритетность или применяемость не удалось определить в текущем раунде. Такие операции заносятся в отдельный список, на основании которого при последующих раундах создаются зависящие от них операции, учитывающие все возможные комбинации. В дальнейшем можно будет определить точный порядок изготовления на основании приоритетности зависимых операций, после чего порядок закрепляется, и операция исключается из списка альтернатив.

Операция дополняет данные, полученные от диспетчера, возможными маршрутами своего выполнения, а также сроками переналадки различного оборудования. Также в дополнительные данные входит средний срок изготовления (с учетом переналадок) по имеющимся маршрутам. Операции, будучи объектом торгов, сообщают координатору о своем желании участвовать в аукционе и по результатам раунда проводят оценку предложений от исполнителя, выбирая наименьшее.

Координатор торгов существует только один, выступая в роли связующего звена между операциями и исполнителями. Собрав все заявки на участие от операций, он рассылает их соответствующим исполнителям, тем самым инициируя раунд торгов. После того, как исполнители оценят заявки от операций, они сообщают о своих предложениях координатору, который в свою очередь после принятия решения операциями проводит анализ загрузки оборудования. Если загрузка одного из исполнителей превышает среднее значение на уровень, заданный ответственным лицом, то выполнение операции отдается наименее загруженному исполнителю, сделавшему предложение (при его наличии). Таким образом, выполняется выравнивание загрузки мощностей, а уровнем допустимого отклонения можно регулировать его силу.

Исполнитель, олицетворяя производственные мощности, является покупателем на аукционе. Определенное количество исполнителей, равное количеству производственных единиц, чья работа подлежит планированию в данной системе, соревнуются за каждую деталь, кто сможет ее выполнить с наименьшими затратами в наиболее ранний срок. Эта группа агентов, как и все другие, оперирует абстрактными номерами периодов. Действие исполнителя в рамках системы начинается с получения полного списка заявок от операций, которые он может выполнить. Отталкиваясь от своего графика утвержденной загрузки, исполнитель проводит оценку каждой поступивший заявки, учитывая накладываемые ей ограничения по срокам запуска. Время выполнения операции для оценки берется с учетом времени переналадки, если она обусловлена технологическим процессом. Если обозначить выгоду от выполнения операции j исполнителем k за C_{jk}, а время выполнения за t_{jk}, то для оценки может использоваться следующая формула [20]:

$$C_{jk} = 2\tan^{-1}(e^{t_{jk}A}).$$

Коэффициент A отвечает за изгиб функции и является отражением критичности CR выполнения данной операции:

$$A = 0{,}11 - \frac{1+\tanh(CR-1)}{20}.$$

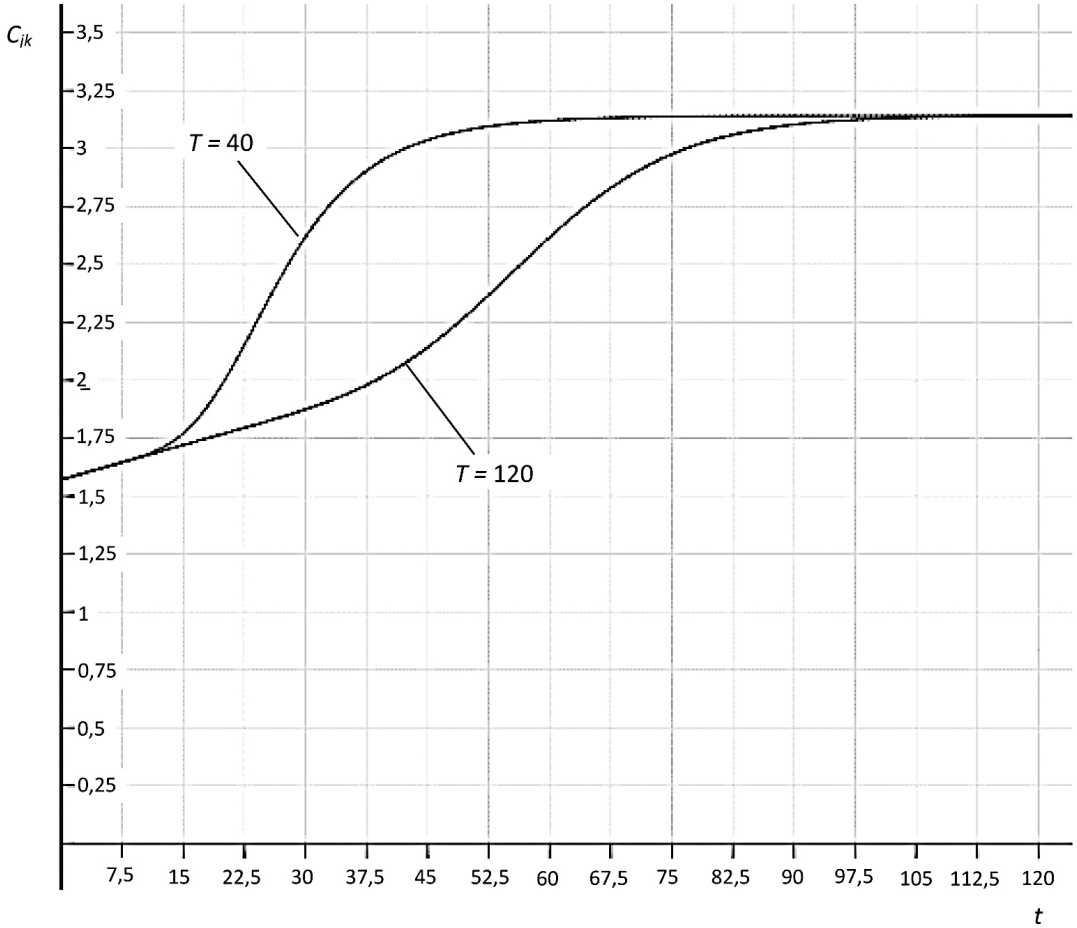
Степень критичности операции рассчитывается как соотношение времени, оставшегося до целевой даты сдачи T, к среднему сроку производства детали, полученному вместе с заявкой t_{avg}:

$$CR = \frac{T}{t_{avg}}.$$

Для наблюдения за поведением функции рассмотрим рис. 5, на котором x обозначено время производства,

Рисунок 5

График функции оценки



а y – значение функции C_{jk}. На рисунке представлено два графика, изображающих различное поведение данной функции в зависимости от оставшегося времени T. Для верхнего графика значение равняется 40, а для нижнего – 120.

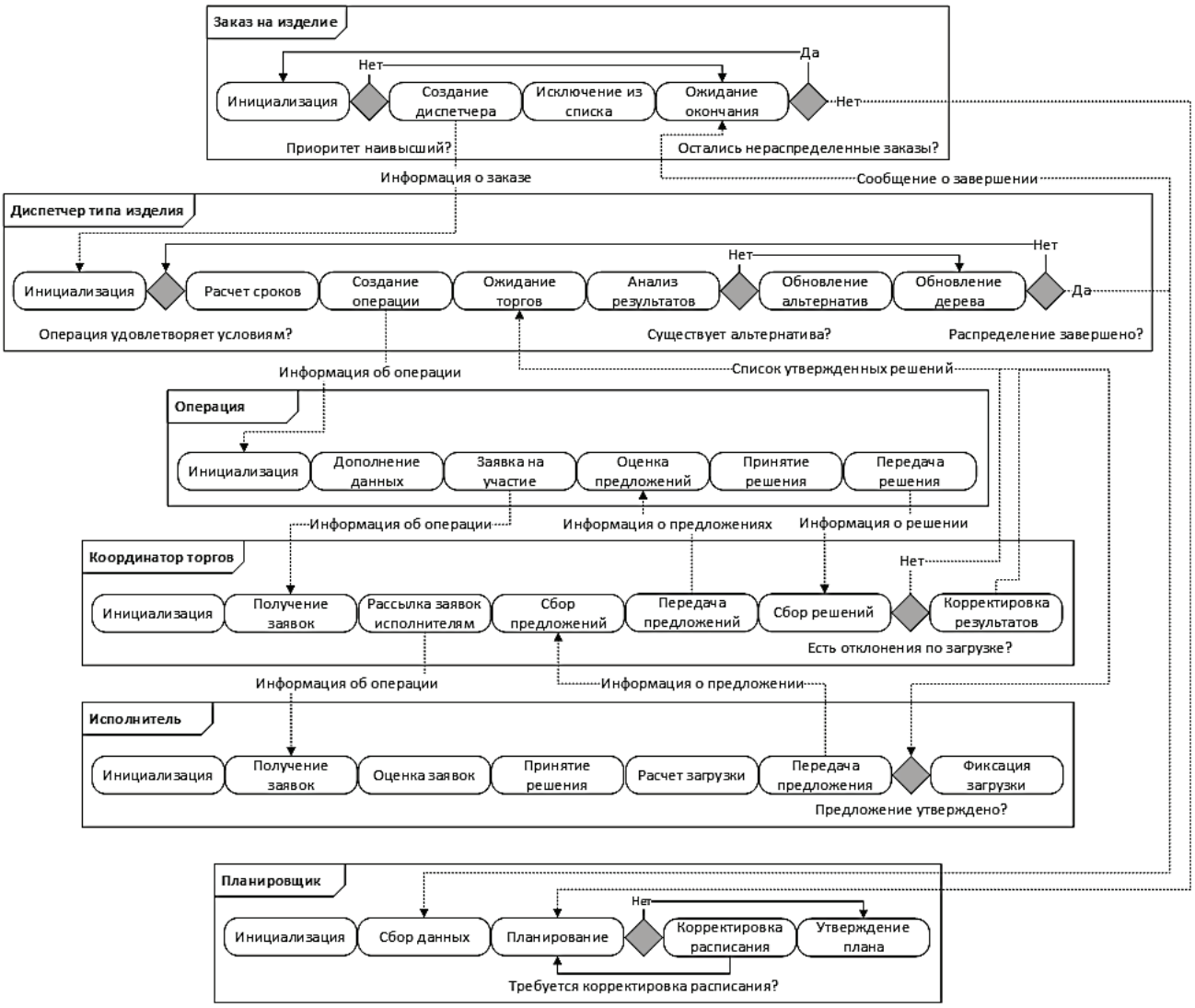
В случае наличия альтернатив исполнитель при создании ставок фиксирует наиболее оптимальные входящие. Приоритет отдается операциям, для которых наименьший разрыв между сдачей входящей и потреблением (в случае, если деталь имеет «срок годности» – старейшей годной).

За каждый раунд торгов исполнитель может выбрать только одну операцию, которой становится та, чье значение C_{jk} наибольшее. Определившись с выбором, агент рассчитывает уровень своей загрузки с учетом новой операции и посылает сообщение координатору, содержащее период старта и окончания производства, а также рассчитанный уровень загрузки. В случае утвердительного ответа от координатора исполнитель запоминает новое расписание своей загрузки, на которое будет опираться во время следующего раунда торгов.

Планировщик начинает свою работу после получения данных о порядке производства от всех планируемых заказов. Его цель – создать выполнимый порядок работ каждому объекту планирования, распределенный по календарным датам. Первым этапом планирования является сопоставление расчетных дат сдачи по каждому заказу с контрактными в попытке их соблюдения по описанному ранее алгоритму. После составления плана работ в идеальных условиях начинается составление расписания с учетом выполнимости работ, основывающейся на наличии покупных комплектующих и материалов. Если потребность не удовлетворена, а время до плановой поставки больше времени изготовления ближайшей выполнимой детали, то в план идет следующая. Далее получившийся выполнимый порядок накладывается на реальные смены с учетом их длительности и количества по каждому исполнителю. Во время этого процесса стоит учитывать непрерываемые операции, чье начало переносится на следующий день, а также заносить в список переносов для последующего анализа и

Рисунок 6

Схема поведения и взаимодействия агентов



принятия решения о продлении последней смены. На заключительном этапе составляется график загрузки мощностей по дням, на основании которого можно принять управленческие решения для ликвидации узких мест. После внесения корректировок в рабочее расписание процесс повторяется заново, и так до тех пор, пока план не будет утвержден ответственным лицом.

Отдельно стоит упомянуть о поведении модели при перепланировании в последующие периоды. Уже начатые операции закрепляются с предыдущими сроками и не подлежат перепланированию вне зависимости от изменившихся условий, а при возможности пошагового учета выполнения для них определяется новая длительность исходя из процента сделанного на момент перепланирования. Наглядная схема описываемой модели представлена на рис. 6 для лучшего понимания структуры взаимодействия между агентами.

Можно констатировать, что разработанная модель вполне соответствует поставленным требованиям. Ее реализация и применение на практике возможны [21], а потенциал оптимизации производственной деятельности высок. Модель системы учитывает специфику технологически сложного производства ОПК, поэтому ее применение может привести к повышению эффективности производства на данных предприятиях.

Список литературы

1. *Батьковский А.М., Фомина А.В.* Необходимость и задачи модернизации оборонно-промышленного комплекса России // Электронная промышленность. 2014. № 4. С. 3–15.
2. *Авдонин Б.Н., Хрусталёв Е.Ю.* Методология организационно-экономического развития наукоемких производств. М.: Наука, 2010. 367 с.
3. *Lopatkin R.V., Zhilkin O.N.* Aircraft maintenance repair and overhaul market in Russia – Challenges and opportunities of the high-tech industry in Russia // Globalizing businesses for the next century: visualizing and developing contemporary approaches to harness future opportunities. New York: Global business and technology association, 2013. P. 1316–1322.
4. *Оладов Н.А., Питеркин С.В., Исаев Д.В*. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. М.: Альпина Паблишер, 2010. 368 с.
5. *Батьковский А.М., Батьковский М.А., Гордейко С.В., Мерзлякова А.П.* Оценка экономической устойчивости предприятий оборонно-промышленного комплекса // Аудит и финансовый анализ. 2011. № 6. С. 120–126.
6. *Berger G.* Ten Ways MRP Can Defeat You. Conference Proceedings. APICS, 1987. P. 240–243.
7. *Батьковский А.М., Фомина А.В., Хрусталёв Е.Ю.* Управление риском при создании продукции военного назначения // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общетехническая. 2014, № 3. С. 177–190.
8. *Askin R.G., Chen J.* Dynamic task assignment for throughput maximization with worksharing // European Journal of Operational Research. 2006. № 168. P. 853–869.
9. *Kis T.* Job-shop scheduling with processing alternatives // European Journal of Operational Research. 2003. № 151. P. 307–332.
10. *Becker C., Scholl A.* A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing // European Journal of Operational Research. 2006. № 168. P. 694–715.
11. *Spearman M., Woodruff D., Hopp W.* CONWIP: a pull alternative to kanban // International Journal of Production Research. 1990. № 28. P. 879–894
12. *Bonvik A.M., Couch C.E., Gershwin S.B.* A comparison of production line-control mechanisms // International Journal of Production Research. 1997. Vol. 35. № 3. P. 789–804.
13. *Голдратт Э.М., Кокс Д.* Цель: процесс непрерывного совершенствования. Минск: Попурри, 2009. 400 с.
14. *Blackstone J.H.Jr., Cox J.F.III, Schleier J.G.Jr.* A tutorial on project management from a theory of constraints perspective // International Journal of Production Research. 2009. № 47 (24). P. 7029–7046.
15. *Panurak H.V.D.* A practitioners' review of industrial agent applications // Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2000. № 3. P. 389–407.
16. *Pham D.T., Eldukhri E.E., Soroka A.J.* Intelligent production machine and systems. Proceedings of the 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems. Oxford: Elsevier Science, 2006. 671 p.
17. *Багриновский К.А., Матюшок В.М.* Экономико-математические методы и модели. М.: РУДН, 1999. 183 с.
18. *Parkes D.C., Ungar L.H.* Iterative Combinatorial Auctions: Theory and Practice. Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence. American Association for Artificial Intelligence, 2000. P. 74–81.
19. *Azaron A., Fynes B., Modarres M.* Due date assignment in repetitive projects // International Journal of Production Economics. 2011. № 129. P. 79–85.
20. *Wong T.N., Leung C.W., Mak K.L., Fung R.Y.K.* Dynamic shopfloor scheduling in multi-agent manufacturing systems // Expert Systems with Applications. 2006. № 31. P. 486–494.
21. *Pendharkar P.C.* A computational study on design and performance issues of multi-agent intelligent systems for dynamic schedulingenvironments // Expert Systems with Applications. 1999. № 16. P. 121–133.

ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Crisis Management

OPTIMIZING THE PRODUCTION PLAN OF DEFENSE CONTRACTORS UNDER THE HIGH UNCERTAINTY AND CRITICAL CAPACITY UTILIZATION

Evgenii Yu. KHRUSTALEV[a,*], Konstantin K. KOTLUKOV[b]

[a] Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Moscow, Russian Federation
stalev@cemi.rssi.ru

[b] Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
k.kotlukov@gmail.com

[*] Corresponding author

Article history:
Received 22 June 2015
Accepted 27 June 2015

Keywords: military-industrial complex, production, planning, multi-agent modeling

Abstract

Importance Defense industry is a critical area; therefore, defense contractors require greater attention. Nowadays, their development is one of top priorities, and there are many long-term projects in this sphere. The article addresses the actions to be taken in the near future to improve the efficiency of defense enterprises using available resources.

Objectives We attempt to develop a conceptual model to optimize the production plan using the ideas of multi-agent simulation that takes into account the characteristics of the target group.

Methods We analyze the current situation in the defense industry. Based on the analysis, we formulate basic requirements for the planning model under development. We also formulate the concept of production planning, using the latest developments in the field of multi-agent simulation.

Results The article presents a conceptual model of the multi-agent planning system, which is capable to function in severe environment, including critical capacity utilization, and may respond to changes in the shortest time possible.

Conclusions and Relevance The developed concept takes into account the specifics of technologically complex production of the military-industrial complex; therefore, if applied, it may improve the productive efficiency at these enterprises.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2015

References

1. Bat'kovskii A.M., Fomina A.V. Neobkhodimost' i zadachi modernizatsii oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii [The need for and objectives of modernization of the Russian military-industrial complex]. *Elektronnaya promyshlennost' = Electronic Industry*, 2014, no. 4, pp. 3–15.
2. Avdonin B.N., Khrustalev E.Yu. *Metodologiya organizatsionno-ekonomicheskogo razvitiya naukoemkikh proizvodstv* [A methodology of organizational and economic development of high technology industries]. Moscow, Nauka Publ., 2010, 367 p.
3. Lopatkin R.V., Zhilkin O.N. Aircraft Maintenance Repair and Overhaul Market in Russia – Challenges and Opportunities of the High-Tech Industry in Russia. In: Globalizing Businesses for the Next Century: Visualizing and Developing Contemporary Approaches to Harness Future Opportunities. New York, Global Business and Technology Association, 2013, pp. 1316–1322.
4. Oladov N.A., Piterkin S.V., Isaev D.V. *Tochno vovremya dlya Rossii. Praktika primeneniya ERP-sistem* [Just in time for Russia. Practical application of ERP-systems]. Moscow, Al'pina Pablisher Publ., 2010, 368 p.
5. Bat'kovskii A.M., Bat'kovskii M.A., Gordeiko S.V., Merzlyakova A.P. Otsenka ekonomicheskoi ustoichivosti predpriyatii oboronno-promyshlennogo kompleksa [Assessing the economic sustainability of the military-industrial complex enterprises]. *Audit i finansovyi analiz = Audit and Financial Analysis*, 2011, no. 6, pp. 120–126.
6. Berger G. Ten Ways MRP Can Defeat You. Conference Proceedings. APICS, 1987, pp. 240–243.

7. Bat'kovskii A.M., Fomina A.V., Khrustalev E.Yu. Upravlenie riskom pri sozdanii produktsii voennogo naznacheniya [Risk management in military products manufacture]. *Voprosy radioelektroniki. Ser. Obshchetekhnicheskaya = Issues of Radioelectronics, General Technical Issues Series*, 2014, no. 3, pp. 177–190.
8. Askin R.G., Chen J. Dynamic task assignment for throughput maximization with worksharing. *European Journal of Operational Research*, 2006, no. 168, pp. 853–869.
9. Kis T. Job-shop scheduling with processing alternatives. *European Journal of Operational Research*, 2003, no. 151, pp. 307–332.
10. Becker C., Scholl A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 2006, no. 168, pp. 694–715.
11. Spearman M., Woodruff D., Hopp W. CONWIP: a pull alternative to kanban. *International Journal of Production Research*, 1990, no. 28, pp. 879–894.
12. Bonvik A.M., Couch C.E., Gershwin S.B. A comparison of production line-control mechanisms. *International Journal of Production Research*, 1997, vol. 35, no. 3, pp. 789–804.
13. Goldratt E.M., Cox J. *Tsel': protsess nepreryvnogo sovershenstvovaniya* [The Goal: A Process of Ongoing Improvement]. Minsk, Popurri Publ., 2009, 400 p.
14. Blackstone J.H.Jr., Cox J.F.III, Schleier J.G.Jr. A tutorial on project management from a theory of constraints perspective. *International Journal of Production Research*, 2009, no. 47 (24), pp. 7029–7046.
15. Panurak H.V.D. A practitioners' review of industrial agent applications. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2000, no. 3, pp. 389–407.
16. Pham D.T., Eldukhri E.E., Soroka A.J. Intelligent Production Machine and Systems. Proceedings of the 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems. Oxford, Elsevier Science, 2006, 671 p.
17. Bagrinovskii K.A., Matyushok V.M. *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli* [Economic and mathematical methods and models]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia Publ., 1999, 183 p.
18. Parkes D.C., Ungar L.H. Iterative Combinatorial Auctions: Theory and Practice. Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence. American Association for Artificial Intelligence, 2000, pp. 74–81.
19. Azaron A., Fynes B., Modarres M. Due date assignment in repetitive projects. *International Journal of Production Economics*, 2011, no. 129, pp. 79–85.
20. Wong T.N., Leung C.W., Mak K.L., Fung R.Y.K. Dynamic shopfloor scheduling in multi-agent manufacturing systems. *Expert Systems with Applications*, 2006, no. 31, pp. 486–494.
21. Pendharkar P.C. A computational study on design and performance issues of multi-agent intelligent systems for dynamic scheduling environments. *Expert Systems with Applications*, 1999, no. 16, pp. 121–133.