

УДК 658.512.6

## ПОДХОД К БАЛАНСИРОВКЕ МОЩНОСТЕЙ АВИАЦИОННОГО ЗАВОДА НА ОСНОВЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2018 О.Э. Чоракаев, В.В. Шишкин, А.М. Карама, А.Н. Пирогов

Институт авиационных технологий и управления  
Ульяновского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В статье авторы анализируют возможность использования научной базы агентного моделирования для модернизации существующей системы управления авиационным предприятием для балансировки имеющихся у него мощностей.

**Ключевые слова:** авиационное производство, агентное моделирование, балансировка мощностей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области  
в рамках научных проектов №16-47-732054, №18-47-732016, № 18-47-730022.*

*Исследование проведено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ №2.1182.2017/4.6.  
«Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки  
агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях  
мульти-продуктовой производственной программы»*

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно стратегическим целям, перед Объединенной авиастроительной корпорацией (ОАК) стоит задача по развертыванию масштабного производства авиационной техники. Наращивание доли рынка планируется как за счет проектов, которые сегодня находятся в серийном производстве, так и за счет новых. В основе мероприятий, обеспечивающих достижение стратегических целей, лежит создание новой индустриальной модели и реорганизация производственных мощностей, которые предполагают внедрение мер по повышению операционной эффективности, создание центров специализации и компетенций в разработке и производстве. Среди основных проблем, которые предстоит решить – переразмеренность существующей индустриальной модели и недостаточная эффективность производства.

В настоящее время на производственных площадках авиастроительных предприятий отмечается низкая эффективность использования существующих ресурсов: основного производственного персонала, оборудования, площадей. Производственные мощности предприятий,

входящих в ОАК, занимают площадь, превышающую совокупные площади производственных площадок четырех крупнейших авиастроительных предприятий Airbus, Boeing, Bombardier и Embraer [5].

Следствием этого является отставание от иностранных конкурентов по показателям производительности труда, обирачиваемости и эффективности использования активов. Кратное увеличение объема производства при сохранении нынешней индустриальной модели потребует либо чрезмерных расходов на техническое перевооружение всех действованных производственных площадок, либо роста фонда оплаты труда в силу существенного увеличения численности основных производственных рабочих.

Меры по выстраиванию системы управления производственными мощностями, их балансировка с учетом пересмотра устаревших норм трудоемкости, рассчитанных на базе устаревших технологий с высокой долей ручного труда, сравнительного анализа техпроцессов и тиражирования лучших практик позволяют сократить расходы, сформировать оптимальный баланс производственных мощностей для выполнения перспективных и стратегических задач по выпуску самолетов, стоящих перед ОАК.

Одним из наиболее перспективных и широко используемых подходов для организации взаимодействия производственных мощностей, как за рубежом, так и в России является подход построения моделей на основе агентного подхода, когда каждое действующее лицо или группа лиц, представляется в виде блока со своими целями и линиями поведения. Другими слова-

Чоракаев Олег Эдуардович, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Самолетостроение».

E-mail: olegchorakaev@yandex.ru

Шишкин Вадим Викторович, кандидат технических  
наук, директор ИАТУ УлГТУ. E-mail: shvv@ulstu.ru

Карама Алмаз Мерселимович, аспирант.

E-mail: akarama@inbox.ru

Пирогов Алексей Николаевич, аспирант.

E-mail: d077@aviastar-sp.ru

ми моделирование производственной системы производиться снизу вверх, что не характерно для других подходов. Теория мультиагентных систем (МАС) изучается давно и развита достаточно сильно как обобщенное направление, но его общность как раз и является тем слабым местом, которое требует адаптации для решения задач авиационной отрасли.

При адаптации МАС на авиационном предприятии следует учитывать следующие факторы:

- импортозамещение – многие предприятия авиационной отрасли в России, за много лет кооперации и принятия зарубежного опыта настроили большую часть поддержки жизненного цикла изделий на иностранные решения, что не исключает излишнюю зависимость от партнеров и риски, связанные с санкциями против ОПК РФ;
- бизнес - процессы авиационных предприятий, как любого сложного производства требуют больших временных промежутков для отладки и перенастройки;

- авиационное предприятие является динамической средой, которая системно объединяет в себе тысячи людей и десятки крупных производств, причем каждому элементу в этой сложной системе свойственно собственное поведение, которое должно подвергаться централизованному контролю;

- характерной чертой авиационных предприятий в РФ, отличающей их от подхода за границей (например, Boeing и Airbus [1]), является построение заводов полного цикла, что в свою

очередь усложняет применение МАС – подхода, так как все агенты ограничены одним заводом;

- в развитии предыдущего пункта, для заводов полного цикла характерны мультипродуктовые линейки и требуется правильное распределение ресурсов для выполнения всех контрактов в заданные сроки и с минимальными штрафами в случае изменения динамической среды.

### АДАПТАЦИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ПОД ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ АВИАСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Чисто мультиагентные системы предназначены для работы с динамической средой и не подготовлены для иерархической структуры управления авиационного предприятия. Для использования позитивных эффектов МАС, необходимо провести адаптацию существующих методов, а конкретнее требуется ответить на вопрос «Что мультиагентные системы должны привнести в централизованную систему управления?» (красная стрелка на рисунке 1).

Структурно модель, представленная на рисунке 1 перенесенная на авиационную отрасль, охватывает ряд бизнес-процессов, которые отражаются в организационной структуре. Для правильного построения структуры агентов и их взаимоотношений авторами взята за основу структура Иркутского авиационного завода (рисунок 2) из открытой печати, являющаяся типичным примером иерархического управления



Рис 1. Проектное включение иерархии в управление на основе агентов

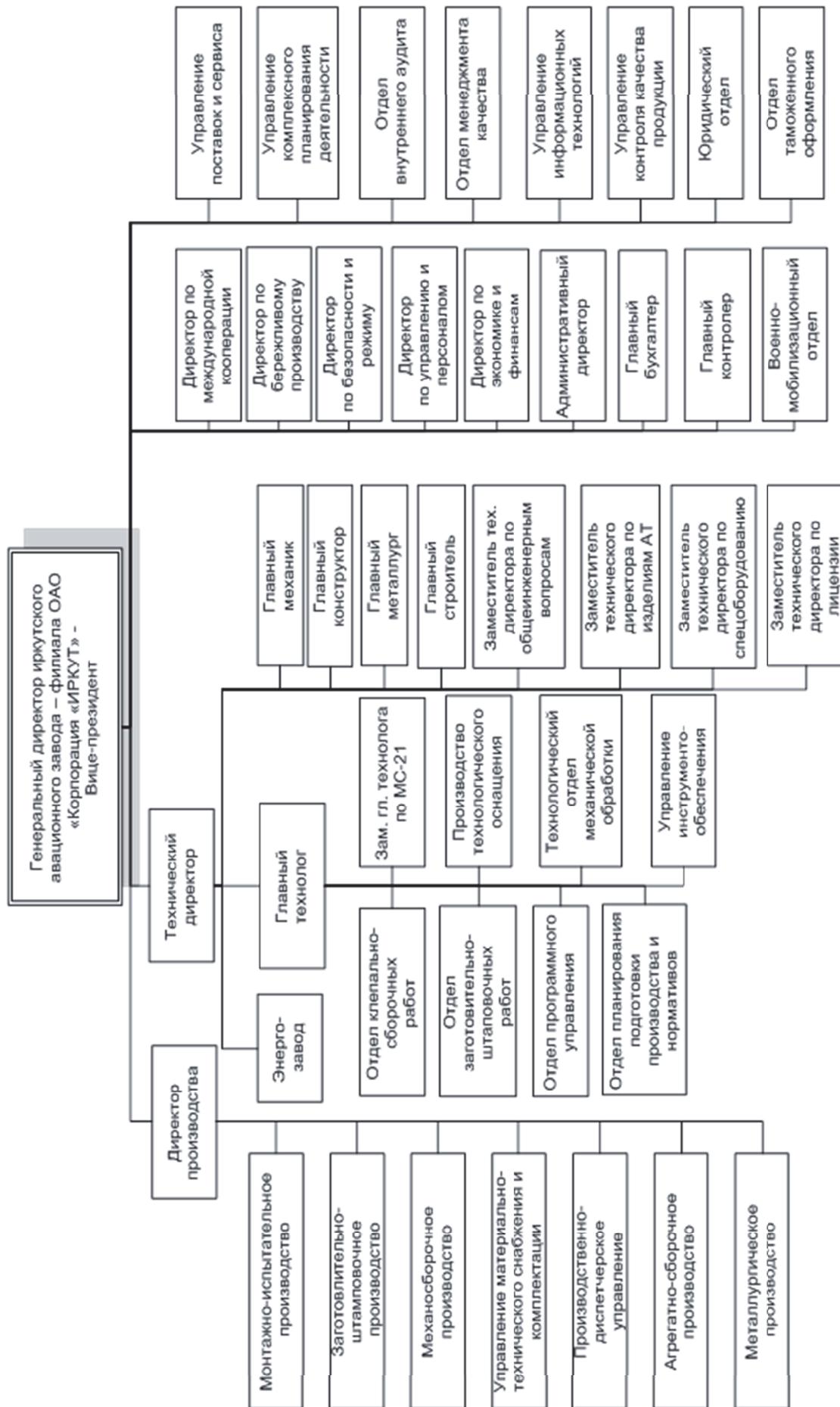


Рис. 2. Иерархия управления авиационным предприятием

любым сложным предприятием, и не является принципиальным.

Основным назначением подобного предприятия является производство воздушных судов исходя из полного цикла производства. Авиационные предприятия зачастую являются многономенклатурным производством с широкой линейкой производимой продукции, в связи, с чем затруднены процедуры получения и анализа информации об участках его производственного процесса [2].

Каждый из агентов, представленных на рисунке 1, является индивидуальным элементом со своей собственной целью. Общей же целью системы, в мультиагентную среду эта цель вводится через блок Топ-менеджмента (централизованное управление). Для принятия верного управленческого решения руководитель должен обладать полноценной достоверной и своевременной информационной поддержкой.

В качестве механизма оптимизации отдельных процессов, например, сборки агрегатов, используется теория графов, которая позволяет оптимизировать процессы сборки сложных изделий по временному параметру за счет представления операций сборки изделия в виде функций трудоемкости [3].

Для решения задач комплексных проблем планирования мультипродуктовых линеек на авиационных заводах традиционно используется и описывается в источниках подход, базирующийся на сетевом планировании, как развитии граfoописательного метода. При подобном подходе удается отдельного планирования производства каждого изделия (поэтапный список работ каждого исполнителя, оптимальный по изделиям), перейти к конкурентной модели занятия динамических ресурсов, оптимальной в целом по мультипродуктовой программе.

При правильно заложенных связях и целях каждого из агентов, MAC сможет адаптироваться под изменившиеся условия и проводить балансировку мощностей завода, как задачу автоматизации. Основой целью и характеристикой правильности построения линии поведения агентов, является консенсус между основной целью завода и локальными целями агентов. Общая и укрупненная структура, предлагаемой схемы внедрения агентов в управление предприятием представлена на рисунке 3.

Задачи поступают в модель из внешней среды, и передаются через агент диспетчеризации, в агент централизованного управления, где принимается решение о целесообразности



**Рис 3.** Структура мультиагентного подхода к управлению авиационным предприятием

включения этой задачи в общий пул задач на основе соответствия локальных целей агентов и поставленной задачи.

Все агенты могут быть разделены по уровню специализации, часть агентов могут выполнять общие и дополнительные задачи, а остальные агенты специализированы на достижении их локальных целей (представлены в таблице 1).

Цель топ-менеджмента, как было отмечено ранее, совпадает с любой бизнес целью и более или менее ясна – максимизировать прибыль.

Цель диспетчерского агента тоже простая – соблюсти план. Но это не исключает срыва плана – каждый исполнительный агент будет стремиться выделить себе наиболее выгодную задачу, и тут требуется контроль жесткого управления, чтобы не допустить дефицита продукции. Именно поэтому в сложном авиастроительном производстве (как в любом дорогостоящем и наукоемком) достигнуть оптимального соотношения параметров без центрального управления обойтись невозможно. Можно выделить набор

**Таблица 1.** Список специализированных агентов и их цели

№	Наименование агента	Локальные цели
1	2	3
1	Центральное управление	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать прибыль предприятия</li> <li>– Обеспечить рост предприятия</li> <li>– Обеспечить государственную потребность в авиационной технике</li> </ul>
2	Агент диспетчеризации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Принимать максимальное количество задач на рассмотрение</li> <li>– Снизить риски срыва заказа</li> <li>– Минимизировать сроки сдачи заказа</li> </ul>
3	Финансовый агент	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Не выходить за имеющийся бюджет</li> <li>– Минимизировать кредитные линии</li> <li>– Обеспечение нормативного уровня экономических параметров предприятия</li> </ul>
4	Агент МТО	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обеспечить своевременную поставку материалов, оборудования и инструментов</li> <li>– Снизить сроки починки оборудования</li> </ul>
5	Металлургический агент	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций металлургического профиля</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Максимизировать прибыль цеха</li> </ul>
6	Агент заготовительно-штамповочного производства	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций ЗШП</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Максимизировать прибыль цеха</li> </ul>
7	Агент механосборочного производства	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций МКП</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Максимизировать прибыль цеха</li> </ul>
8	Агент монтажного производства	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций монтажного профиля</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Максимизировать прибыль цеха</li> </ul>
9	Агент окончательной сборки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций окончательной сборки</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Максимизировать прибыль цеха</li> </ul>
10	Испытательный агент	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимизировать номенклатуру операций подлежащих контролю и испытаний</li> <li>– Не допустить срыва плана цеха</li> <li>– Выявить наибольший процент отклонений</li> </ul>

факторов, являющихся основополагающими для формирования оптимального плана работы подобного предприятия, не отраженные на рисунке 3 отдельными агентами и вложенные в цели центрального управления:

- устранение дефицита трудовых ресурсов;
- оптимизация производственных площадей;
- сокращение трудоемкости и временного цикла выпуска изделий.

Но со стороны агентного подхода удается моделировать возможность переориентации агентов под новые задачи, хотя зачастую это длительный процесс и кроме этого дорогостоящий (например, покупка нового станка или открытие центра специализации), но данная возможность должна быть рассмотрена и оценены перспективы подхода.

Основными вариантами, которые должны быть рассмотрены как элементы подбора параметров системы, являются:

- изменение производственной программы;
- вывод производств, цехов и участков на аутсорсинг;
- объединение производств, цехов;
- изменение режима работы предприятия.

В заключение хотелось бы отметить, что без сомнения мультиагентный подход при должной настройке может быть использован при построении экспертной системы управления авиастроительным предприятием, несмотря на различия между рассосредоточенностью сети агентов и необходимой централизацией управления высокотехнологичным предприятием.

## ВЫВОДЫ

Предложенный в статье подход к модели оптимизации производственных мощностей на основе MAC может быть развит для расчета сбалансированной потребности в ресурсах с учетом описанных в тексте факторов, а также обеспе-

чить оперативное формирование объективной информации об имеющихся мощностях предприятия. Отдельной задачей при моделировании производства является выявление показателей целесообразности по каждому предлагаемому заказу и необходимых для этого опытных, технологических и прочих работ, информирование о дефиците мощностей по производствам. Итоговым результатом работы является формирование плана перераспределения объемов производства между агентами по схожим видам работ с целью обоснования внутризаводской и внешней кооперации для обеспечения максимума поставленной целевой функции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варшавский Л.Е. Методологические основы моделирования развития олигополистических рынков продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка гражданской авиационной техники) // Прикладная эконометрика. 2010. № 4. С. 53-74.
2. Построение модели производственно-экономического прогнозирования деятельности авиастроительного предприятия, как основного инструмента при управлении экономической устойчивостью и помохи при консалтинге / А.М. Топорков, А.В. Федин, С.В. Толузаров, А.М. Карама // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №4(2). С. 771-776.
3. Щекlein В.С., Чоракаев О.Э. Подход к математическому моделированию производства на авиастроительном предприятии на основе развития метода сетевого планирования управления // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 4(3). С. 874-877.
4. Соколова О.Ф., Соколова М.И., Куликов И.Н. Исследование процессов сборки самолета по функции // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 4(2). С. 281-285.
5. Трансформация ради повышения конкурентоспособности // АвиаПорт.ru. URL: <https://www.aviaport.ru/news/2017/02/20/421489.html> (дата обращения 15.09.2018).

## APPROACH TO THE BALANCING OF AVIATION FACTORY CAPACITIES BASED ON AGENT MODELING

© 2018 O.E. Chorakaev, V.V. Shishkin, A.M. Karama

Institute of Aviation Technology and Management of Ulyanovsk State Technical University

In the article, the authors analyze the possibility of using the scientific base of agent modeling for the modernization of the existing system of management of an aviation enterprise for balancing its existing capacities.

**Keywords:** aviation production, agent modeling, power balancing.

Oleg Chorakaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Aircraft Department.

E-mail: [olegchorakaev@yandex.ru](mailto:olegchorakaev@yandex.ru)

Vadim Shishkin, Candidate of Technical Sciences, Director of the IATU of UlSTU. E-mail: [shvv@ulstu.ru](mailto:shvv@ulstu.ru)

Almaz Karama, Graduate Student.

E-mail: [akarama@inbox.ru](mailto:akarama@inbox.ru)

Aleksey Pirogov, Graduate Student.

E-mail: [d077@aviastar-sp.ru](mailto:d077@aviastar-sp.ru)