

### 1.3. О МОДЕЛЯХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Ерешко Ф.И., д.т.н., ВЦ РАН, Москва  
Шевченко В. В., ВЦ РАН, Москва

*В работе рассматриваются вопросы поддержки принятия решений в оборонно-промышленном комплексе России (ОПК). Анализируются структура комплекса, система контрагентов, с которыми его организации взаимодействуют в процессе своей производственно-экономической деятельности. Классифицируются решения, принимаемые в процессе управления оборонными организациями различного уровня. Обозначается модельно-алгоритмический инструментарий поддержки принятия решений в оборонно-промышленном комплексе. Предлагается целостная и взаимосвязанная система моделей поддержки принятия решений в процессе управления комплексом, рассматриваются процедуры использования этой системы моделей.*

#### **Введение**

Само существование и развитие любого общества (общественного организма) определяется наличием у него и качеством людских ресурсов, природных ресурсов, системы обеспечения безопасности и активов материально-финансового характера (чистых активов в стоимостной оценке). Ту или иную совокупную оценку перечисленных активов можно назвать национальным богатством или совокупными активами, изменяющимися во времени. При этом такие оценки, конечно, могут быть самыми разными, как одно-, так и многокритериальными. Система обеспечения общественной безопасности, в свою очередь, также имеет людские и природные ресурсы, свои материально-финансовые активы. Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) является неотъемлемой составляющей Системы безопасности, ответственной за его материальное обеспечение и, в свою очередь, также имеющей свои многокомпонентные совокупные активы. Эти совокупные активы должны прибывать. В связи со сказанным, ОПК производит и реализует продукцию и услуги по трём направлениям: ГОЗ и ГПВ (Гособоронзаказ и Государственная программа вооружений), ВТС (военно-техническое сотрудничество с зарубежными контрагентами), ГП (производство гражданской продукции, реализуемой на всех рынках).

Предприятия ОПК объединены в интегрированные структуры (ИС), относящиеся к различным отраслям ОПК. Производственно-экономическая деятельность и развитие ОПК направляются и поддерживаются как на уровне федерального Правительства, так и госкорпорациями. В процессе управления функционированием и развитием ОПК принимаются решения разного уровня (ОПК в целом, отрасль ОПК, ИС, предприятие) и разного характера (производственные, финансовые, кадровые, инновационно-модернизационные, логистические, маркетинговые, социальные, проектные, реорганизационные). Математическое моделирование может и должно использоваться в целях поддержки всего указанного спектра решений.

Под компьютерной или просто поддержкой принятия решений понимается любое использование вычислительной техники в процессе принятия того или иного решения. В настоящей работе рассматриваются лишь те способы такой поддержки, в рамках которых имеет место использование оптимизационных и игровых, имитационных моделей, моделей исследования операций в целях поддержки принятия производственно-экономических решений. Поддержка рутинного характера не рассматривается. При этом используются модели, подробное описание которых представлено в [1-23].

Далее в пункте 1 рассмотрены структура ОПК и агенты (акторы, игроки), с которыми самые разные его организации (предприятия, ИС, отрасли, ОПК в целом) взаимодействуют в процессе своей производственно-экономической деятельности. В пункте 2 перечисляются и классифицируются типы решений, принимаемых в процессе управления жизнедеятельностью ОПК. В пункте 3 анализируются модели и алгоритмы, которые целесообразно использовать в процессе поддержки принятия решений в ОПК. В пункте 4 выстраивается система оптимизационных и игровых моделей, взаимодействующих между собой, использование которой могло бы обеспечить эффективную поддержку принятия достаточно широкого круга решений по управлению ОПК, обозначаются перспективы развития и углубления этой системы моделей.

#### **1. Структура и контрагенты ОПК**

ОПК РФ – разветвлённый промышленный комплекс, включающий в себя принципиально высокотехнологические предприятия. Предприятия разделены по отраслям и объединены (как правило) в ИС (интегрированные структуры), каждая из которых специализируется на производстве продукции и услуг вполне определённого вида.

ИС состоят из головного и других предприятий ОПК. Все предприятия являются АО (акционерными обществами). Головное предприятие (ГП) ИС, как правило, имеет определённые пакеты акций других предприятий этой ИС, в связи с чем имеет возможность влияния на внутренние решения этих предприятий. Производственно-экономическая деятельность ИС как единого целого консолидируется также тем или иным договором типа договора о совместной деятельности и системой договорных отношений между участниками ИС. ГП ИС является контрагентом госструктур в части исполнения ГОЗ и ГПВ, производства

продукции и услуг в рамках ВТС. Прямое взаимодействие предприятий и ИС в рамках ВТС запрещено. В части производства и реализации ГП (гражданской продукции и услуг) предприятия и ИС вполне самостоятельны.

ОПК определяет ГОЗ и ГПВ (различия между ГОЗ и ГПВ небольшие, но имеются), формируя подлежащий производству в указанные сроки перечень продукции и услуг с ценами их закупки государством. ОПК может также участвовать в привлечении ИС кредитов и инвестиций, в прямом государственном финансировании проектов реконструкции и развития предприятий. ОПК определяет некоторые жёсткие ограничения, которым обязаны следовать предприятия и ИС.

Минпромторг определяет юридическую составляющую деятельности предприятий, ИС, отраслей ОПК, ОПК в целом; распределяет (по конкурсам) бюджетные средства, выделяемые на развитие ОПК. Госкорпорации координируют деятельность находящихся в их ведении ИС и предприятий ОПК.

Описывая любую организацию (предприятие, ИС, отрасль, ОПК в целом), ОПК в целях моделирования целесообразно максимально точно представлять организационную структуру, систему процедур принятия решений, систему информационных потоков данной организации. Информационные потоки, естественно, должны коррелировать с процедурами принятия решений. Описывая информационные потоки, необходимо прописывать перечни информации, подлежащей передаче от каждого элемента организационной структуры к каждому (возможно пустые) с указанием периодичности предоставления информации. Принимаемые решения должны быть классифицированы, по каждому типу решения описан порядок согласований и утверждения.

В качестве примера приведём описание одного из вариантов согласования Стратегических планов. Разрабатываемые сетевые модели производственных отношений групп предприятий ориентированы на реализацию процедур согласования решений на этапе бюджетирования в рамках Стратегического планирования и формирования планов-графиков и их корректировки на уровне всего ОПК, в соответствии с правовыми основаниями (см. Федеральный закон от 05.04.2013 N 44-ФЗ (ред. от 31.07.2020) "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2020), Статья 16. Планирование закупок и на Федеральный закон от 29.12.2012 N 275-ФЗ (ред. от 08.12.2020) "О государственном оборонном заказе" (с изм. и доп., вступ. в силу с 19.12.2020).

Рассмотрим вопрос о деятельности всей совокупности предприятий, входящих в сферу ОПК, и приведём совокупное описание моделей всех предприятий (Цифровых двойников), входящих в Цифровую платформу ОПК при веерном технологическом графе. Прежде всего отметим, что модель отражает *Иерархическую структуру управления*.

Можно рассматривать это описание, как описание производственной модели ОПК в целом.

Ограничимся отдельным вопросом организационно-технологического характера: приведём описание модели для оценки возможности выполнения Государственного оборонного заказа (ГОЗ) группой предприятий по выпуску конечных продуктов при заданных финансовых средствах.

Подчёркнём, что модели такого типа («грубые» модели) позволяют оценить качественные стороны принятия решений. Прежде всего они находят своё эффективное применение при разработке сценариев вычислительных экспериментов для имитационных систем на базе цифровых платформ при большой размерности модельных комплексов.

Но есть и другая сторона. Так, в рамках указанных положений и конструкций были глубоко исследованы модели контрактов между активными экономическими системами.

Нобелевская премия 2016 года по экономике была присуждена Оливеру Харту (Гарвардский университет, США) и Бенгту Хольстрёму (Массачусетский технологический институт, США) за их вклад в теорию контрактов, которая базируется на моделях взаимодействия иерархического характера: Принципал-агенты. В Пресс-релизе Нобелевского комитета отмечается, что проведенный авторами анализ оптимальных контрактов закладывает интеллектуальный фундамент для разработки стратегий и институтов во многих областях, от законодательства о банкротстве до политических конституций.

Прикладной смысл таких исследований – с одной стороны, создание математического аппарата для анализа упрощенных моделей, позволяющих делать качественные выводы, и, с другой стороны, формировать на модельном уровне представление о предмете исследований у лиц, принимающих решения на всех организационных уровнях. Далее рассматривается один из вариантов описания организационной системы на основе отечественной теории иерархических игр [2-5].

## **2. Описание организационной системы на основе отечественной теории иерархических игр**

Предполагаем, что организационно система состоит из трёх уровней:

Центр-интегрированные структуры (холдинги)-предприятия.

*Субъекты.* Опиерирующую сторону в данной модели будем отождествлять с Центром (Минпромторг России, ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», ГК «Росатом» и другие Федеральные органы исполнительной и законодательной власти).

Далее, имеется некоторое число предприятий, разбитых на  $K$  интегрированных структур. Предприятия будем нумеровать двойными индексами  $kn$ , где  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) – номер интегрированной структуры,  $n$  – номер предприятия ( $n = 0, 1, \dots, N$ ).

Здесь, чтобы не использовать лишних индексов, считаем, что число предприятий в каждой интегрированной структуре одинаково. Если это не так, то можно считать, что  $N + 1$  – максимальное число предприятий в интегрированной структуре, а в те структуры, в которых предприятий меньше, добавлены фиктивные предприятия с очень большими затратами на производство (см. ниже).

Каждую интегрированную структуру будем отождествлять с ее головным предприятием, за которым зарезервируем индекс  $n = 0$ .

*Технологические процессы.* Будем рассматривать функционирование системы на отрезке времени  $t = 1, 2, \dots, T$ .

Пусть система способна выпускать  $l$  видов продукции. Обозначим  $U = \dot{Y}_+^l$ .

Центр выбирает *объемы и сроки* ГОЗ, т.е. для каждой интегрированной структуры  $k$  задает набор  $(u_1^k, \dots, u_T^k)$  векторов  $u_t^k \in U$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ .

Кроме того, Центр устанавливает *цены продукции*, т.е. для каждого момента времени  $t$  выбирает вектор  $p_t \in U$ .

Таким образом, например, структура  $k$  в момент времени  $t$  получит от Центра за выполнение ГОЗ сумму, равную  $p_t u_t^k$ .

*Производственные мощности.* Состояние производственных мощностей предприятия  $kn$  в момент времени  $t$  описывается вектором  $x_t^{kn}$  с неотрицательными компонентами. Множество всех таких векторов обозначим через  $X$ .

Опять же для простоты формул считаем, что размерности этих векторов для всех  $t$  и всех  $kn$  одинаковы, но в них могут быть нулевые компоненты.

В момент времени  $t$  предприятие  $kn$  выбирает вектор  $z_t^{kn}$  вновь создаваемых мощностей. Таким образом, динамика производственных мощностей задается формулой

$$x_{t+1}^{kn} = x_t^{kn} + z_t^{kn}, \quad t = 1, \dots, T, \quad k = 1, \dots, K, \quad n = 0, 1, \dots, N.$$

Начальное значение  $x_0^{kn}$  считается параметром задачи.

За создание новых мощностей предприятие платит сумму  $P_t z_t^{kn}$ . Здесь вектор  $P_t$  с неотрицательными компонентами – параметр модели.

*Выпуск продукции, затраты.* В момент времени  $t$  предприятие  $kn$  выбирает объем выпуска продукции  $v_t^{kn} \in U$ .

Разумеется, производство продукции связано с затратами. Будем считать, что эта связь описывается функцией

$$\Phi = (\varphi, \phi): X \times U \rightarrow U \times W.$$

Здесь  $\varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \in U$  – затраты продукции, производимой внутри ОПК, на производство продукции в количестве  $v_t^{kn}$  при наличии мощностей  $x_t^{kn}$ ,

$\phi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \in W$  – затраты на приобретение продукции, закупаемой извне ОПК.

Здесь вновь для упрощения формул считаем, что каждое предприятие может выпускать полную номенклатуру продукции, но затраты на выпуск «непрофильных» товаров (т.е. не соответствующих имеющимся мощностям), принимаются значительными для их исключения при расчёте.

Предположим, что предприятия, входящие в одну интегрированную структуру, могут обмениваться произведенной продукцией.

*Обмены.* Объем  $\omega_t^{knm} \in U$  продукции, поставляемой предприятием  $n$  предприятию  $m$  в момент времени  $t$ , определяется головным предприятием интегрированной структуры.

*Управления головного предприятия* интегрированной структуры  $k$  должны удовлетворять ограничениям

$$v_t^{k0} + \sum_{n=1}^N \omega_t^{kn0} - \sum_{n=1}^N \omega_t^{k0n} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq u_t^k, \quad t = 1, \dots, T.$$

Обозначим через  $U_t^{k0}(x_t^{k0}, u_t^k)$  множество наборов (управлений)

$$(z_t^{k0}, v_t^{k0}, \omega_t^{k00}, \dots, \omega_t^{k0N}, \omega_t^{k10}, \dots, \omega_t^{kNN}) \in X \times U^{N^2+1},$$

удовлетворяющих ограничению

$$v_t^{k0} + \sum_{n=1}^N \omega_t^{kn0} - \sum_{n=1}^N \omega_t^{k0n} \geq u_t^k$$

(здесь для простоты записи принято  $\omega_t^{knn=0}$ ,  $n = 0, 1, \dots, N$ ).

Управления предприятия  $n$  ( $n \neq 0$ ), входящего в интегрированную структуру  $k$  должны удовлетворять ограничениям

$$v_t^{kn} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm}, t = 1, \dots, T.$$

Обозначим через  $U_t^{kn}(x_t^{kn}, \omega_t^{kn0}, \dots, \omega_t^{knN}, \omega_t^{k0n}, \dots, \omega_t^{kNn})$  множество пар  $(z_t^{kn}, v_t^{kn}) \in X \times U$ , удовлетворяющих условию

$$v_t^{kn} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm}.$$

*Интересы.* Будем считать, что целью предприятий является максимизация прибыли.

Обозначим для краткости  $\bar{z}^{-kn} = (z_1^{kn}, \dots, z_T^{kn})$ ,  $\bar{v}^{-kn} = (v_1^{-kn}, \dots, v_T^{-kn})$ ,  $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$ .

Для  $n \neq 0$  прибыль предприятия  $kn$  задается формулой

$$g^{kn}(\bar{p}, \bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}) = \sum_{t=1}^T p_t v_t^{kn} - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{kn} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{kn}, v_t^{kn}).$$

Здесь  $\pi_t$  – вектор цен на товары, закупаемые вне ОПК. Это – параметр модели.

Считаем, что головное предприятие интегрированной системы является акционером остальных предприятий этой системы. Поэтому его прибыль выражается формулой

$$g^{k0}(\bar{p}, \bar{z}^{-k0}, \bar{z}^{-k1}, \dots, \bar{z}^{-kN}, \bar{v}^{-k0}, \bar{v}^{-k1}, \dots, \bar{v}^{-kN}) = \sum_{t=1}^T p_t v_t^{k0} - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{k0} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) + \sum_{n=1}^N \alpha^{kn} g^{kn}(\bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}).$$

В этой формуле  $\alpha^{kn}$  – доля головного предприятия в капитале предприятия  $kn$ .

В модели – это параметры.

Как было сказано, в данной модели предполагается, что любое предприятие в принципе способно выпускать любую продукцию в любом количестве, только такой непрофильный выпуск может сопровождаться очень большими затратами. Поэтому в рамках данной модели реализуемость ГОЗ естественно трактовать как безубыточность всех предприятий. Таким образом, Центру приписывается функция выигрыша

$$g(\bar{p}, \bar{z}^{-10}, \bar{z}^{-11}, \dots, \bar{z}^{-1N}, \bar{z}^{-KN}, \bar{v}^{-10}, \bar{v}^{-11}, \dots, \bar{v}^{-1N}, \dots, \bar{v}^{-KN}) = \min_{1 \leq k \leq K} \min \left[ g^{k0}(\bar{z}^{-k0}, \bar{z}^{-k1}, \dots, \bar{z}^{-kN}, \bar{v}^{-k0}, \bar{v}^{-k1}, \dots, \bar{v}^{-kN}), \min_{1 \leq n \leq N} g^{kn}(\bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}) \right].$$

*Информированность и порядок ходов.* Будем предполагать, что всем субъектам рассматриваемой системы точно известны ее параметры.

Считаем, что *первым принимает решение Центр*. Он выбирает управления  $\bar{u}^{-k} = (u_1^k, \dots, u_T^k)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , и  $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$  и доводит до предприятий информацию о сделанном выборе.

Затем одновременно и независимо делают выбор головные предприятия.

Обозначим через  $\bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k})$  множество всех наборов

$u_t^{k0} = (z_t^{k0}, v_t^{k0}, \omega_t^{k00}, \dots, \omega_t^{k0N}, \omega_t^{k10}, \dots, \omega_t^{kNN})$ ,  $t = 1, \dots, T$ , удовлетворяющих условиям

$$u_t^{k0} \in U_t^{k0}(x_t^{k0}, u_t^k), x_{t+1}^{k0} = x_t^{k0} + z_t^{k0}, t = 1, \dots, T.$$

Головное предприятие выбирает программу  $\bar{u}^{-k0} \in \bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k})$  и сообщает о своем выборе предприятиям своей интегрированной структуры.

После этого одновременно и независимо производят свой выбор остальные предприятия.

Предприятие  $kn$  выбирает свою программу  $u_t^{kn} = (z_t^{kn}, v_t^{kn})$ ,  $t = 1, \dots, T$ , из множества  $\bar{U}^{-kn}(\bar{u}^{-k0})$  программ, удовлетворяющих условиям

$$u_t^{kn} \in U_t^{kn}(x_t^{kn}, \omega_t^{kn0}, \dots, \omega_t^{knN}, \omega_t^{k0n}, \dots, \omega_t^{kNn}), x_{t+1}^{kn} = x_t^{kn} + z_t^{kn}, t = 1, \dots, T.$$

*Принцип оптимальности.* Будем считать, что все субъекты осторожны к имеющейся у них неопределенности. При этом они рассчитывают на рациональное поведение своих партнеров.

При описанной выше схеме принятия решений, предприятие  $kn$  ( $n > 0$ ), выбирая управления, находится в ситуации, когда его выигрыш зависит только от его решения. Поэтому естественно считать, что оно выберет программу  $\bar{u}^{-kn}$  из множества

$$BR^{kn}(\bar{u}^{-k0}) = \left\{ \bar{u}^{-kn} \in \bar{U}^{-kn}(\bar{u}^{-k0}) : g^{kn}(\bar{p}, \bar{u}^{-kn}) = \max_{w^{kn} \in \bar{U}^{-kn}(\bar{u}^{-k0})} g^{kn}(\bar{p}, w^{kn}) \right\}.$$

Головное предприятие  $k0$  может оценить это множество. Поэтому для него естественно выбрать свою программу  $\bar{u}^{-k0}$  из множества

$$BR^{k0}(\bar{u}^{-k}) = \left\{ \bar{u}^{-k0} \in \bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k}) : \min_{u^{-k1} \in \bar{U}^{-k1}(\bar{u}^{-k0})} \dots \min_{u^{-kN} \in \bar{U}^{-kN}(\bar{u}^{-k0})} g^{k0}(\bar{p}, \bar{u}^{-k0}, u^{-k1}, \dots, u^{-kN}) = \right. \\ \left. = \max_{w^{-k0} \in \bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k})} \min_{u^{-k1} \in \bar{U}^{-k1}(w^{-k0})} \dots \min_{u^{-kN} \in \bar{U}^{-kN}(w^{-k0})} g^{k0}(\bar{p}, w^{-k0}, u^{-k1}, \dots, u^{-kN}) \right\}$$

(можно показать, что если все параметры  $a^{kn}$  строго положительны, то при обычных предположениях о множествах выборов максимум в этой формуле достигается).

$$\text{Обозначим } BR^k(\bar{u}^{-k0}) = BR^{k0}(\bar{u}^{-k}) \times \prod_{n=1}^N BR^{kn}(\bar{u}^{-k0}).$$

Пусть Центр фиксировал программы  $\bar{u}^{-k} = (u_1^k, \dots, u_T^k)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , и  $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$ . Тогда он может рассчитывать, что при рациональном поведении партнеров он получит выигрыш не меньший

$$\min_{(u^{-10}, u^{-11}, \dots, u^{-1N}) \in BR^1(\bar{u}^{-1})} \dots \min_{(u^{-K0}, u^{-K1}, \dots, u^{-KN}) \in BR^K(\bar{u}^{-K})} g(\bar{p}, u^{-10}, u^{-11}, \dots, u^{-1N}, u^{-K0}, u^{-K1}, \dots, u^{-KN}).$$

**Вывод.** Поэтому, если величина

$$\sup_{\bar{p} \in \bar{U}^T} \min_{(u^{-10}, u^{-11}, \dots, u^{-1N}) \in BR^1(\bar{u}^{-1})} \dots \min_{(u^{-K0}, u^{-K1}, \dots, u^{-KN}) \in BR^K(\bar{u}^{-K})} g(\bar{p}, u^{-10}, u^{-11}, \dots, u^{-1N}, u^{-K0}, u^{-K1}, \dots, u^{-KN})$$

положительна, или она неотрицательна и верхняя грань в последней формуле достигается, то ГОЗ  $(\bar{u}^{-1}, \dots, \bar{u}^{-K})$  реализуем.

**Замечание о смешанных механизмах.** В изложении не описан случай, когда Предприятие может реализовывать излишки продукции на внутреннем рынке по рыночным ценам. Формально это несложно учесть при описании выпусков продукции и интересов предприятий.

Тогда будет учтена специфика по смешанным механизмам управления отрасли, о чём упоминалось выше в разделе спецификации.

В результате на основе данного описания построена Сетевая Модель, которая учитывает технологические и организационные связи всех предприятий ОПК. Сформулированная Сетевая Модель имеет вид теоретико-игровой модели с иерархической структурой, с приоритетом действий Центра и учётом связей между агентами технологического графа ОПК.

Задача принятия решений Центра сформулирована с учётом неопределённостей и рисков, что завершает построение общей системы математического обеспечения принятия решений производственным блоком ОПК.

### 3. Классификация решений по управлению ОПК

Решения естественным образом разделяются на плановые и оперативные. И те, и другие могут быть отнесены к производственно-технологическим, финансовым, кадровым, реорганизационным, инновационно-модернизационным, НИОКР, логистическим, маркетинговым. Плановые и оперативные решения всех типов принимаются руководителями организаций ОПК и представителями федеральной власти и госкорпораций на уровне предприятий и их подразделений, ИС, отраслей ОПК, ОПК в целом. Имеет место сложившаяся система информационных потоков и процедур принятия решений внутри ОПК и во взаимодействии ОПК с Минпромторгом и ВПК, госкорпорациями.

Производственно-технологические решения связаны с организацией процессов производства продукции и услуг, с определением и исполнением технологий производства.

Финансовые решения связаны с движением финансовых средств при выполнении обменных (купля-продажа продукции, услуг, труда), кредитно-депозитных, инвестиционных, налоговых, обучающих, социальных операций, распределением прибыли.

Кадровые решения связаны с приемом и увольнением, обучением и здравоохранением работников, изменением их контрактных обязательств и условий оплаты их труда.

Реорганизационные решения связаны с изменением организационных структур и штатных расписаний предприятий и организаций.

Инновационно-модернизационные решения связаны с улучшающим изменением технологий производства продукции и услуг.

Решения в части НИОКР связаны с определением технических заданий и кадрового состава исполнителей НИР и ОКР, выделением материально-финансовых средств на их исполнение.

Логистические решения принимаются в процессе материально-технического обеспечения жизнедеятельности и производства предприятий и организаций.

Маркетинговые решения связаны с реализацией продукции ОПК.

Про всякое решение можно также сказать, что оно относится к ГОЗ и ГПВ, ВТС, ГП или является комплексным, касается всех этих видов деятельности ОПК.

Плановые решения касаются будущих моментов времени, оперативные – текущего момента.

Строго говоря, поддержка принятия решений каждого из перечисленных типов требует разработки и использования специальных математических моделей, оптимизационных, игровых, иных. Но при этом можно и нужно говорить о классах моделей, каждый из которых применим при поддержке принятия решений многих типов.

#### 4. Инструментарий обработки информации на основе балансовых моделей.

Первым создателем экономико-математических моделей можно назвать В.В. Леонтьева, который предложил анализировать экономические взаимодействия методом межотраслевого баланса. При этом выявляются производящие один продукт (чистые) отрасли и используются линейные производственные функции. Первая работа В.В. Леонтьева (1925) была связана с работой в ЦСУ СССР, далее учёный продолжил свои исследования в США и оказал значительное влияние на преодоление последствий великой депрессии в этой стране. Методология Леонтьева в настоящее время используется повсеместно.

В теоретической части описание следует [24]. Естественным способом освоения (усвоения) интегрированной информационной системы ОПК является математическое моделирование, что позволяет проанализировать скрытые причинно-следственные связи и системность имеющейся информации. И первым этапом является анализ финансовых потоков между структурами ОПК на основе моделирования финансовых балансов.

Метод межотраслевого баланса В.В.Леонтьева успешно использовался в XX веке для анализа экстенсивного восстановительного роста экономики в США после великой экономической депрессии, а также и экономик европейских стран и Японии в послевоенное тридцатилетие. В последнее время стали разрабатываться сетевые модели межотраслевых связей для экономик мира, и гипотеза В.В. Леонтьева о постоянстве норм материальных затрат заменена гипотезой о постоянстве структуры финансовых затрат в процессе производства товаров и услуг с учётом их отраслевой дифференциации.

Эта гипотеза соответствует допущению, что производитель фиксирует пропорции своих расходов, в рамках которых в зависимости от ценовой конъюнктуры осуществляет материальные затраты, варьируя качество приобретаемых товаров и услуг [25].

Применительно к моделированию большого научно-производственного комплекса ОПК такая гипотеза представляется более адекватной, чем гипотеза В.В.Леонтьева. В отличие от леонтьевских отраслевых производственных функций с постоянными пропорциями, ей соответствуют производственные функции Кобба-Дугласа.

*Квадранты межотраслевого баланса ОПК.* Абстрагируясь от содержательного смысла отраслей производства ОПК, перенумеруем их и будем различать по номерам  $\{1, \dots, m\}$ . В своей деятельности отрасли пользуются услугами и затрачивают продукцию других отраслей и получают за это оплату. Обозначим  $Z_i^j$  денежную сумму, полученную  $i$ -й отраслью от  $j$ -й отрасли за выполненные для неё работы. Здесь  $i$  и  $j$  принимают значения из  $\{1, \dots, m\}$ . Матрица  $[Z_i^j]_{i=1, \dots, m}^{j=1, \dots, m}$  образует первый квадрант симметричной таблицы межотраслевого баланса.

Второй квадрант  $[Z_i^j]_{i=1, \dots, m}^{j=m+1, \dots, m+k}$  образуют  $m$ -мерные столбцы оплаты продукции и услуг отраслей конечными потребителями (государственный заказ, экспорт, поставки товаров народного потребления). Здесь  $k$  – число выделенных конечных потребителей. В процессе своей деятельности отрасли используют первичные ресурсы, т.е. товары и услуги, не производимые внутри рассматриваемого комплекса отраслей, например, трудовые услуги, импортные комплектующие, товары и услуги, произведённые в другом секторе экономики.

Соответствующие  $m$ -мерные строки вместе со строками уплаченных налогов и прибылей образуют третий квадрант таблицы  $[Z_i^j]_{i=m, \dots, m+n}^{j=1, \dots, m}$ . Тест на проверку системности собранной информации заключается в проверке равенства суммы элементов  $i$ -й строки сумме элементов  $i$ -го столбца для любого  $i \in \{1, \dots, m\}$ :

$$\sum_{i=1}^{m+n} Z_i^j = \sum_{i=1}^{m+k} Z_j^i, \quad j = 1, \dots, m.$$

Будем предполагать, что это условие выполнено. Отметим, что

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=m+1}^{m+n} Z_i^j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=m+1}^{m+k} Z_j^i.$$

Обратная задача заключается в построении на основе нелинейного межотраслевого баланса модели распределения ресурсов в форме задачи выпуклого программирования или вариационного неравенства, решение которой воспроизводит симметричную таблицу межотраслевого баланса.

*Построение производственных функций отраслей ОПК и ОПК в целом.* Для идентификации модели нелинейного межотраслевого баланса построим  $m$ -мерный вектор

$$Z^0 = (Z_1^0, \dots, Z_m^0), Z_i^0 = \sum_{j=m+1}^{m+k} Z_i^j,$$

и пусть  $A_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=m+1}^{m+k} Z_i^j$  и  $A_j = \sum_{i=1}^n Z_i^j, j = 1, \dots, m$ .

Рассчитаем коэффициенты

$$\alpha_i^j = \frac{Z_i^j}{A_j}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m; b_i^j = \frac{Z_{m+i}^j}{A_j}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m;$$

$$a_i^0 = \frac{Z_i^0}{A_0}, i = 1, \dots, m.$$

$$\sum_{i=1}^m a_i^j + \sum_{i=1}^n b_i^j = 1, \alpha_i^j \geq 0, b_i^j \geq 0, j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^m a_i^0 = 1, a_i^0 \geq 0, i = 1, \dots, m.$$

Определим производственную функцию  $j$ -ой отрасли как функцию Кобба-Дугласа

$$F_j(X^j, l^j) = A_j \left( \prod_{i=1}^m \left( \frac{X_i^j}{Z_i^j} \right)^{\alpha_i^j} \right) \left( \prod_{i=1}^n \frac{l_i^j}{Z_{m+i}^j} \right)^{b_i^j}, j = 1, \dots, m;$$

функцию полезности конечных потребителей как функцию Кобба-Дугласа  $F_0(X^0) = \prod_{i=1}^m (X_i^0)^{a_i^0}$ , вектор

предложения первичных ресурсов как  $l = (l_1, \dots, l_n), l_i = \sum_{j=1}^m Z_{m+i}^j, i = 1, \dots, n$ .

*Утверждение.* Набор значений переменных

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{X}_i^0 = Z_i^0, i = 1, \dots, m; \hat{X}_i^j = Z_i^j, j = 1, \dots, m, i = 1, \dots, m; \\ \hat{l}_t^j = Z_{m+t}^j, j = 1, \dots, m, t = 1, \dots, n \end{array} \right\}$$

является решением задачи выпуклого программирования (1)-(4).

$$F_0(X^0) \rightarrow \max$$

$$F_j(X^j, l^j) \geq \sum_{i=0}^m X_i^i, (j = 1, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^m l^j \leq l,$$

$$X^0 \geq 0, X^1 \geq 0, \dots, X^m \geq 0, l^1 \geq 0, \dots, l^m \geq 0.$$

где  $X_i^j, X_j^j$  – объём продукции  $i$ -ой отрасли, который используется в качестве производственных факторов (ПФ) в процессе производства в  $j$ -ой отрасли, а через  $X^j = (X_1^j, \dots, X_m^j)$  обозначим затраты  $j$ -ой отрасли ПФ производимых рассматриваемой группой отраслей. Будем также предполагать, что в процессе производства отрасли затрачивают в качестве ПФ первичные ресурсы  $n$  видов, т.е. продукты, не производимые рассматриваемой группой отраслей. Обозначим через  $l^j = (l_1^j, \dots, l_n^j)$  вектор затрат первичных ресурсов  $j$ -ой отрасли, а через  $F_j(X^j, l^j)$  – производственную функцию  $j$ -ой отрасли, т.е. зависимость выпуска  $j$ -ой отрасли от затрат ПФ.

Обозначим через  $X^0 = (X_1^0, \dots, X_m^0)$  объёмы поставок производимой рассматриваемыми отраслями продукции внешним потребителям. Будем считать, что спрос внешних потребителей описывается с

помощью функции полезности  $F_0(X^0)$ . Предложение первичных ресурсов рассматриваемой группе отраслей ограничено объемом  $l = (l_1, \dots, l_m) \geq 0$ .

Рассматривается задача об оптимальном распределении этих ресурсов между отраслями в целях максимизации функции полезности внешних потребителей при балансовых ограничениях по первичным ресурсам и выпускаемой отраслями продукции.

Таким образом, построенная задача (1)-(4) с производственными функциями типа Кобба-Дугласа соответствует наблюдаемым исходным данным (симметричной таблице межотраслевых связей) финансовых потоков.

*Вывод.* Построенные таким образом производственные функции используются в Цифровой платформе при расчётах в Моделях цифровых двойников и в имитационных экспериментах ниже.

*Сценарии экспериментов. Примеры анализа межотраслевых связей.* Модель оптимального распределения ресурсов при заданных производственных функциях позволяет анализировать межотраслевые финансовые потоки оплаты товаров и услуг при различных сценариях изменения внешних условий.

*Сценарий изменения цен на импортные товары и услуги (комплектующие).* Изменение внутренних цен на импортные товары и услуги может произойти в результате изменения курса иностранной валюты, изменения цен на мировом рынке или в результате возрастания транзакционных издержек при покупке необходимых импортных товаров и услуг в условиях санкционных ограничений.

*Сценарий изменения расходов конечных потребителей.* Изменение плана денежных расходов конечных потребителей может произойти в результате корректировки государственного заказа, изменений доходов от экспорта товаров и услуг и изменения доходов от реализации товаров народного потребления.

*Сценарий изменения валютного курса.* Валютный курс оказывает влияние на внутренние цены импортных товаров и услуг, а также на доходы от экспорта. В результате изменения цен на импортные товары и услуги меняется вектор индексов цен на первичные ресурсы, а изменения доходов от экспорта товаров в терминах модели выражаются в изменении вектора денежных расходов  $\hat{Z}^0 = (\hat{Z}_1^0, \dots, \hat{Z}_m^0)$ .

## 5. Обзор методологии математических расчётов

Вопросам разработки математических моделей для описания различных аспектов целостных производственно-экономических процессов, таких, как линейное программирование, теория массового обслуживания, теория расписаний и т.д., посвящена обширная литература.

При решении задач линейного программирования (постановка и метод решения (симплекс-метод Л.В. Канторовича) оптимизируется заданная линейная форма при заданных линейных ограничениях в виде равенств и/или неравенств. В таком виде могут быть представлены транспортные задачи, многие задачи оптимального распределения ресурсов.

Теория массового обслуживания ставит и решает задачи обслуживания случайно формирующихся очередей заданным числом обслуживающих единиц с заданными возможностями обслуживания.

В общей постановке задачи теории расписаний задано  $n$  станков и  $m$  работ, каждая из которых требует заданных времён исполнения на заданных станках. При этом последовательность использования работой необходимых станков может быть как упорядоченной (линейно либо частично), так и произвольной. Считается, что полиномиального алгоритма решения задачи теории расписаний в общей постановке по сей день не найдено. Однако в работе [23], по утверждению авторов, представлен полиномиальный алгоритм решения задачи, обобщающей общую постановку задачи теории расписаний.

Значительных результатов в использовании теории расписаний и других математических методов при организации производственных процессов на предприятиях и их подразделениях достигла широко известная школа Г.С. Поспелова (ВЦ АН СССР). Создавались, в частности, программные комплексы такого направления, которые использовались многими предприятиями.

Также в этом контексте следует отметить теорию линейных производственных процессов Канторовича-Купманса, удостоенную Нобелевской премии.

Сверхзадача построения адекватного точного языка целостного и взаимоувязанного описания экономических (в широком смысле) процессов фактически поставлена в [1]. С этой работой связывают появление математической теории игр.

Игры разделяются на статические (в которых игроки делают свой выбор один раз, в обозначенный момент дискретного времени, но перед выбором могут думать, считать, обмениваться информацией) и динамические (с многократными последовательными выборами, возможно, и в непрерывном времени). Динамические игры могут быть повторяющимися (разыгрываются в дискретном времени, прошлые выборы никак не влияют на текущий розыгрыш), многошаговыми (также в дискретном времени, но прошедшие розыгрыши влияют на текущий [5,6]), дифференциальными (рассматривается управляемая дифференциальная динамическая система, в которой управление разделено между игроками, имеющими различные цели). Выделяется также класс кооперативных игр, в которых присутствует большое число игроков с простым поведением. При этом при рассмотрении каждой игры из множества игроков выделяется тот, в чьих интересах проводится рассмотрение игрового взаимодействия: оперирующая сторона или 1-й игрок.

Весьма значительное продвижение в области фундаментального и прикладного развития теории игр и исследования операций достигнуто школой Ю.Б. Гермейера и Н.Н. Моисеева [2-8,10-23]. В работах этой школы осуществлено продвижение в изучении вопросов, связанных с неопределённостью, агрегированием, связанными ограничениями, информированностью в иерархических играх, была разработана методология



поддержки принятия решений, основанная на идее «компромисса при метацели». Построены модели управления функционированием коалиций взаимного кредитования, других финансовых коалиций.

Одним из важных направлений исследований, сформировавшихся в рамках школы Гермейера-Моисеева, является информационная теория иерархических систем (ИТИС), основы которой были заложены в [3]. Суть этой теории состоит в том, что при моделировании функционирования иерархических систем ключевым аспектом может и должно быть описание интересов взаимодействующих игроков (составляющих иерархическую систему), их информированности и установленных информационных потоков между ними, принятых процедур принятия решений.

В ИГУ РАН (В.Н. Бурков) родилась и активно развивалась в теоретическом и прикладном направлениях теория активных систем [9], идея которой состоит в обобщении теории автоматического регулирования (ТАР) с целью точного описания общественно-экономических процессов путём предположения о том, что некоторые элементы систем ТАР могут быть активными, действующими целесообразно, имеющими волеизъявления.

Разработка целостной и взаимоувязанной системы сценарного анализа деятельности организаций оборонного комплекса требует оригинальных, неожиданных решений.

ОПК России является вполне конкретным разветвлённым производственно-экономическим комплексом. Поэтому адекватно описывать его жизнедеятельность можно только как функционирование некоей динамической системы в дискретном времени (с тактом день, неделя, месяц, квартал, год). Такая динамическая система должна иметь вполне определённое пространство состояний. С практической точки зрения вполне можно считать это пространство конечномерным и исходить из того, что описывается наша система конечным числом переменных. В связи с чем, необходимые модели должны быть тем или иным алгоритмом пересчёта значений этих переменных в конце текущего момента дискретного времени по их же значениям в начале этого и предыдущих моментов.

Жизнедеятельность оборонно-промышленного комплекса по своей природе – процесс непростого игрового взаимодействия многих действующих лиц, который никак не впишется в формализм повторяющихся игр. Из чего следует, что формализовать эту жизнедеятельность следует как многошаговую игру в дискретном времени. Но сделанное к текущему моменту в направлении исследования этого класса игр можно назвать лишь первыми шагами. Реальность много сложнее. В связи с чем, в решении поставленной задачи не обойтись без имитационного моделирования [10-11]. Также представляется целесообразным использовать методологию операционного игрового сценарного моделирования [12-14], в рамках которой многошаговые игры описываются в виде динамических ансамблей статических игр с регулирующим правилом, определяющим порядок разрешения возможных ресурсных конфликтов между играми такого ансамбля.

Идеология операционного игрового сценарного моделирования [12-14, 20-21] родилась в процессе решения конкретных практических задач, связанных с прогнозированием и поддержкой принятия решений при управлении функционированием и развитием оборонно-промышленного комплекса России и промышленного комплекса Москвы. Накопленный опыт экономико-математического моделирования, во многом оторванный от реальной практики принятия решений, не позволял найти подходы к решению этих задач. Математические методы оптимизации без рассмотрения игровых взаимодействий (линейное и динамическое программирование, теория расписаний и теория массового обслуживания, моделирование с использованием дифференциальных и разностных уравнений) хорошо работали при рассмотрении частных аспектов производственно-экономической деятельности (транспортные задачи, организация производственно-технологических процессов, обслуживание очередей, расчеты по инвестиционно-кредитным взаимодействиям с использованием понятия приведенного дохода), но не позволяли рассматривать производственно-экономический процесс как единое целое. Накопленный опыт теоретико-игрового моделирования позволял анализировать лишь простейшие академические примеры игрового взаимодействия, далёкие от взаимодействия практического, реального. Практика имитационного моделирования требовала перехода от полупирических подходов к фундаментальным, соответствующим «нормам научной строгости». Необходимо было в соответствии с пожеланиями основоположников теории игр «построить удовлетворяющее нормам научной строгости описание простейших фактов экономической жизни» [1]. Родилась идея представления многошаговых игр в виде динамических ансамблей статических игр, моделирующих «простейшие факты экономической жизни» с использованием регулирующего правила разрешения возможных ресурсных конфликтов между играми этого ансамбля.

С целью формализации (самого общего характера) самих названных статических игр, описывающих простейшие одномоментные хозяйственные операции (хозяйственные факты), было уточнено предложение Гермейером определение операции как «совокупности целенаправленных действий». Для этого было принято решение ограничиться играми с конечномерным фазовым (конфигурационным) пространством возможных состояний игрового процесса (физических состояний, без учета имеющейся у игроков информации, договоренностей между ними, планируемых стратегий поведения, намерений). В рамках такого ограничения действием названа некоторая зависящая от управляющего вектора вектор-функция, определяющая перемещение в фазовом пространстве при совершении данного действия. Строгое определение получил и порядок объединения действий в совокупности с целью описания той или иной операции (статической игры ансамбля статических игр рассматриваемой операционной игры). В соответствии с этим порядком для описания операции необходимо определить её участников (в виде подмноже-

ства всего множества игроков операционной игры), перечень действий, связанных с данной операцией (вектор-функций, зависящих от вектора управления операцией), и алгоритм определения вектора управления операции, исходя из выборов участников в части данной операции и реализации связанных с данной операцией неопределённых факторов. Целенаправленность было принято понимать традиционно: каждый игрок руководствуется своим принципом оптимальности, множеством его выборов является декартово произведение множеств его выборов по всем операциям, в которых он участвует.

Операционный игровой процесс – многошаговый процесс игрового взаимодействия, на каждом шаге которого проводятся некоторые из множества возможных операций, в результате чего изменяется положение в фазовом пространстве игрового процесса. Для разрешения возможных ресурсных конфликтов между операциями на каждом шаге этого процесса вектора управлений операций корректируются тем или иным избранным в данной игре регулирующим правилом. Динамика операционных процессов определяется вполне определённой системой соотношений.

#### 6. Макроэкономическое моделирование внешней среды организаций ОПК

В работах школы ВЦ РАН (А.А. Петров, И.Г. Поспелов, А.А. Шананин) активно развивалось дифференциально-разностное направление моделирования макроэкономических процессов, опираясь на методологию системного анализа. Для построения моделей была создана инструментальная система ЭКО-МОД, с использованием которой создана «модельная летопись» развития экономики России, начиная с «реформы» Гайдара.

В области взаимодействия с контрагентами организации ОПК наиболее интересны интервальные оценки ожиданий в части цен на используемые сырьё, материалы, услуги, электроэнергию, цен на производимые товары и услуги, в части запросов по оплате труда работников разных квалификационных групп в разных регионах России, в части рынков инвестиций и кредитных ресурсов. В качестве базовой методологии проведения указанных оценок предполагается использовать указанное выше направление САРЭ (системного анализа развивающейся экономики). В рамках этого направления модели строятся исходя из систем уравнений материального и финансового баланса:

Уравнения материального баланса описывают картину движения материальных благ:

1. имеется исчерпывающий список  $N$  всех агентов (физических и юридических лиц);
2. имеется исчерпывающий список  $G$  всех материальных благ (ресурсов, товаров и услуг);
3. в каждый момент времени  $t$  весь наличный объём каждого блага разделен между агентами, и изменение запаса  $Q_i^v(t)$  блага  $i \in G$  у агента  $v \in N$  описывается **уравнением баланса**

$$\frac{d}{dt} Q_i^v = \underbrace{X_i^v}_{\text{производство}} - \underbrace{C_i^v}_{\text{конечное потребление}} - \underbrace{V_i^v}_{\text{текущие затраты}} - \underbrace{Z_i^v}_{\text{капитальные затраты}} - \sum_{\mu \in N} (h_i^{\nu\mu} - h_i^{\mu\nu}) \quad (1)$$

скорость изменения запаса

Конечно, это описание весьма условно. Списки агентов и благ необозримы ( $|N|, |G| \sim 10^9$ ) и постоянно меняются по составу. Тем не менее, до сих пор вся бухгалтерия и вся экономическая статистика строятся на основе приведенной схемы. Ее сила в том, что она последним членом в правой части выражает фундаментальное свойство **аддитивности** блага: агент  $\nu$  теряет то, что получает от него агент  $\mu$ . Благодаря этому распределение запасов по агентам оказывается мерой на множестве агентов, и суммарный запас любого множества агентов удовлетворяет уравнению баланса того же вида.

Уравнения финансового баланса связаны с тем, что свертывание и передачу информации в экономике осуществляют **деньги**. В сколь-нибудь развитой экономике каждому систематически повторяющемуся потоку обмена  $h_i^{\nu\mu}$  в (1) отвечает встречный денежный поток платежей

$$H_i^{\mu\nu}(t) = p_i(t) h_i^{\nu\mu}(t), \quad (2)$$

в котором, как можно считать, **цена**  $p_i(t)$  не зависит от того, какая пара агентов совершает обмен. Умножая балансы на цены (1) и складывая по группам агентов и продуктов, получаем описание потоков агрегированных благ между **макроагентами**. В частности, сложение по товарам и услугам  $i \in P \subset G$ , но без ресурсов, и по агентам  $v \in S \subset N$ , расположенным на территории некоторой страны, дает **основной макроэкономический баланс** этой страны

$$\sum_{v \in S} \sum_{i \in P} p_i (X_i^v - V_i^v) = \sum_{v \in S} \sum_{i \in P} p_i C_i^v + \sum_{v \in S} \sum_{i \in P} p_i (Z_i^v + \mathcal{G}_i^v) + \sum_{v \in S} \sum_{i \in P} p_i \sum_{\mu \in N \setminus S} h_i^{\mu v} - \sum_{v \in S} \sum_{i \in P} p_i \sum_{\mu \in N \setminus S} h_i^{\mu v} \quad (3)$$

ВВП
Потребление
Накопление
Экспорт
Импорт

Запасы (остатки) денег у агентов  $W^v$  – аддитивная величина. В современных условиях, когда натуральная эмиссия отсутствует, эти запасы удовлетворяют следующему уравнению баланса

$$\frac{d}{dt} W^v = \sum_{\mu \in N} \sum_{i \in G} (H_i^{\mu v} - H_i^{v \mu}) + \sum_{\mu \in N} (T^{\mu v} - T^{v \mu}) + \sum_{\mu \in N} \left( \frac{d}{dt} L^{\mu v} - \frac{d}{dt} L^{v \mu} \right) + \sum_{\mu \in N} (R^{\mu v} - R^{v \mu}) \quad (4)$$

скорость  
изменения  
запаса денег
платежи
трансферты
скорость изменения  
долгов и сбережений
проценты

Приведение этой дифференциальной связи к нормальной форме превращает ее в систему линейных дифференциальных уравнений, описывающую изменение остатков различных счетов агента в силу стандартных бухгалтерских **двойных проводок**.

Складывая балансы (4) по всем агентам, получаем, что сумма запасов денег у агентов не растет со временем! (Потоки денег замкнуты)

$$\frac{d}{dt} \sum_{v \in N} W^v(t) = 0. \quad (5)$$

Соотношения (1-5) могут быть выписаны при различных способах выделения макроагентов и построения макроэкономических моделей. При этом естественным образом выделяются присутствующие в этих соотношениях переменные, управляемые выделенными макроагентами (игроками). Анализируются различные сценарии макроэкономических процессов. Исходя из этого анализа, могут быть выявлены искомые интервальные оценки ожиданий от внешней для организации среды.

### 7. Развитие систем моделей поддержки принятия решений в ОПК

На первом этапе моделирования в целях поддержки принятия решений можно ограничиться производственно-финансовыми моделями, в которых учитывается деятельность (операции) обменного (купля-продажа продукции, услуг, труда), производственно-технологического, финансового (снабжение, сбыт, налоги, кредиты, инвестиции) характера. При этом производственно-технологическая база считается неизменной (модернизация не рассматривается), равно как и квалификационный потенциал персонала (не рассматривается и обучение), не рассматривается и НИОКР. Такие модели (классы моделей –) сделаны в классическом [18] и операционном [20] игровом видах, в их части можно начинать работу по программированию макетных версий. Это уже вполне можно использовать, на первом этапе формируя исходные данные в первом приближении, без глубокой проработки, оценивая ожидаемую конъюнктуру рынков, приобретаемых сырья, материалов, услуг, рынка труда; рынков реализуемой продукции и услуг экспертно-аналитически. Далее можно и нужно развивать эти модели, включая в них моделирование НИОКР, модернизации, обучения, проведение более глубокого анализа игрового взаимодействия организаций ОПК с контрагентами.

Нельзя оставлять без внимания и технологические оценки исполнимости тех или иных производственных планов. В случае массового производства простой продукции без этого можно и обойтись. Но в ОПК никак. Экономически всё может получаться, но при этом технологически нереализуемо.

Исходными данными, необходимыми для проигрывания того или иного сценария операционного игрового взаимодействия оперирующей стороны с контрагентами и природой, являются начальные сальдо рассматриваемых базовых счетов и начальные характеристики рассматриваемых операций. Управления игроков и реализации неопределённых факторов по ходу игрового взаимодействия, вид регулирующего правила, информированность и обязательства игроков являются сценарными условиями, описывающими рассматриваемый сценарий. Однако при взаимодействии с рынками труда, кредитов и инвестиций, потребляемых сырья, материалов и услуг, производимых ОС товаров и услуг, ожидаемые ценовые выборы контрагента (рынка) необходимо как-то оценивать. Для получения корректных и основательных интервальных оценок такого рода необходимо построение макроэкономических моделей леонтьевского или иного типа. В отсутствие таких моделей для этих оценок и оценок начальных характеристик операций можно использовать экспертно-аналитические оценки. В частности, может оказаться полезным программный комплекс поддержки экспертно-аналитических оценок, разработанный в ИПУ РАН (В.В. Кульба, И.В. Чернов). Основным источником определения начальных сальдо базовых счетов могут и должны служить балансовые отчёты и паспорта предприятий и организаций.

При описании рассматриваемых сценариев можно различными способами определять стратегии отличных от оперирующей стороны игроков и ожидания по реализации неопределённых факторов. Можно рассматривать штатные (ожидаемые, планируемые) и нештатные варианты развития событий, моделировать реализации тех или иных рисков как разрушительные операции и срывы запланированных операций. Парирование реализации риска естественно моделировать как проведение дополнительных опе-

раций, необходимое в связи с возникшим форс-мажором. Построенные с использованием базовой модели программные комплексы будут работать в режиме WHAT IF-анализа и поддерживать принятие как плановых, так и оперативных решений. В оперативной ситуации реализации того или иного риска, к примеру, будут проигрываться различные варианты его парирования и по каждому варианту оцениваться уровень компенсации образовавшегося ущерба, что может служить основанием для оперативного принятия решения по выбору наилучшего из возможных вариантов парирования реализации риска.

Прогнозы по каждому сценарию будут строиться в виде полной динамики рассматриваемых базовых счетов. Исходя из этой динамики, можно оценивать любые используемые на практике экономические показатели (ликвидности, чистые активы, ...).

Как уже говорилось выше, в области взаимодействия с контрагентами, организации ОПК наиболее интересны интервальные оценки ожиданий в части цен на используемые сырьё, материалы, услуги, электроэнергию, цен на производимые товары и услуги, в части запросов по оплате труда работников разных квалификационных групп в разных регионах России, в части рынков инвестиций и кредитных ресурсов. В качестве базовой методологии проведения указанных оценок предполагается использовать разработанное школой Петрова-Поспелова направление САРЭ

Оценки производственно-технологических возможностей производства продукции и услуг предполагается проводить с использованием алгоритма, представленного в работе [23].

Рассматриваемая в данной работе модель позволяет оценивать производственные возможности самых различных комплексов производителей. Программный комплекс, основанный на этой модели, позволил бы определять, исходя из производственных возможностей подразделений любого производственного объединения, реализуемо или нет то или иное производственное задание.

Задаётся комплекс (определённое число) производителей, каждый из которых способен исполнять за определённое время и плату заданные операции по преобразованию одних целочисленных векторов объектов заданного списка в другие вектора объектов. Имеется внешний рынок, на котором все объекты рассматриваемого списка имеют свои цены покупки и продажи. Ставится задача максимизации прибыли комплекса на заданном отрезке времени.

Эта задача обобщает общую постановку задачи теории расписаний. В виде расписаний представляема значительная часть производственно-технологических процессов. Но в классических постановках задач теории расписаний рынки покупки и продажи комплектующих не рассматриваются. Работа, подлежащая выполнению, строго определена.

Рассматривая конкретные задачи по оценке реализуемости планов производства продукции и услуг теми или иными комплексами производителей ОПК (цеха, предприятия, ИС), необходимо учитывать экономическую составляющую (возможность покупки и продажи различных комплектующих и услуг) процесса производства. Постановка работы соответствует практическим потребностям.

Это может быть использовано в Моделях оценки реализуемости мероприятий ГПВ и ГП ОПК, заданных ГОЗ организациями ОПК.

В целом, модели, необходимые для прогнозирования и поддержки принятия решений в ОПК, можно разделить на:

- 1) модели игрового имитационного моделирования управления производственно-экономической деятельностью и развитием организаций ОПК (предприятий, ИС, отраслей, ОПК в целом);
- 2) эконометрические модели анализа и подготовки исходных данных для моделирования в ОПК;
- 3) модели оценки производственных функций организаций ОПК;
- 4) модели технологической оценки производственных возможностей комплексов производителей ОПК;

5) макроэкономические модели оценки внешних факторов, влияющих на производственно-экономическую деятельность организаций ОПК (рынок труда, рынки сырья и материалов, энергии, готовой продукции и услуг ОПК, кредитов и инвестиций, факторов природного и политического характера).

При этом модели технологической оценки производственных возможностей необходимы для выяснения того, реализуемы ли намеченные совокупности производственных операций (реализуемые с финансово-экономической точки зрения) технологически. Без эконометрических моделей нельзя подготовить корректные исходные данные для моделей игрового имитационного моделирования. Без макроэкономических моделей нет возможности обоснованно предсказывать поведение контрагентов.

### **Выводы**

Имеющийся опыт показывает, что использование современных методов поддержки принятия решений предприятиями и организациями обеспечивает маргинальную прибыль и повышает производительность труда. Комплексное и системное использование математического моделирования в ОПК могло бы привести к такому же эффекту. Представленная в работе система оптимизационных и игровых моделей, используемая как единое целое, открывает возможности поддержки широкого круга базовых производственно-финансовых решений в различных организациях ОПК (предприятия, ИС, отрасли, корпорации, ОПК в целом). Углубление и развитие предложенной системы моделей позволит ставить вопрос об эффективной поддержке более сложных решений (инновационно-модернизационных, кадровых, природоохранных, организационных).

**Литература:**

1. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение, пер. с англ., Москва, Россия: Наука, 1970, - 707 стр.
2. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – отд. изд. – М.: Наука, 1981. – 488 с..
3. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Наука, 1976. 328 с.
4. Ерешко, Ф. И. Математические модели и методы принятия согласованных решений в активных иерархических системах / Ф. И. Ерешко; дисс. на соискание уч. степ. докт. тех.наук, Специальность: 05.13.10 Управление в социальных и экономических системах. – М.: ИПУ РАН, 1998. – 324 с.
5. Горелов, М.А. Информированность и децентрализация управления / М. А. Горелов, Ф. И. Ерешко //Автоматика и телемеханика, 2019. – №6. – С. 156–172
6. Ерешко Ф.И. Иерархические компромиссы при общих связях и параллельных угрозах. М.: ВЦ АН СССР, 1984. – 18 с.
7. Кононенко А.Ф. О многошаговых конфликтах с обменом информацией // ЖВМ и МФ, 1977, Т. 17, №4. С. 922-931.
8. Петров А.А. Об экономике языком математики. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2003. 112 с.
9. Бурков В.Н. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984.
10. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2000. 134 с.
11. Бродский Ю.И. Модельный синтез и модельно-ориентированное программирование. М.: ВЦ РАН, 2013. 142 с.
12. Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. Задачи управления производственными корпорациями и операционные игры. М.: ВЦ РАН, 2004, - 42 с.
13. Кононенко, А.Ф., Шевченко В.В. Операционные игры. Теория и приложения. Москва, Россия: ВЦ РАН, 2013, - 136 стр.
14. Ерешко Ф.И., Шевченко В.В. Принципы и процедуры операционного игрового сценарного моделирования. Материалы из ВСПУ-2014. Москва, Россия: ИПУ РАН, 2014, стр. 5364-5374.
15. Матвеева Л.К., Ковалев А.М., Кононенко А.Ф., Косенкова С.Т., Шевченко В.В. Применение аппарата операционного игрового моделирования для разработки сценарного плана развития промышленной деятельности. М.: Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники», серия 3, выпуск 1 (338), 2007, стр. 19-27.
16. Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. Методология сценарного игрового операционного моделирования социально-экономических процессов, представленная на примере сценарного прогнозирования развития промышленного комплекса г. Москвы. М.: Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники», серия 3, выпуск 2 (339), 2007, стр. 44-53.
17. Chursin A.A., Shevchenko V.V., About the possibilities of operational gaming scenario modeling activities of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109609/>
18. Довгучиц С.И., Мушков А.Ю., Ерешко Ф.И. Математическое моделирование в решении задач информационно-аналитического обеспечения управления развитием оборонно-промышленного комплекса. Научный вестник ОПК России №1 2021, стр. 5-15. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_1\_5 (РИНЦ, ВАК при Минобрнауки)
19. Ерешко Ф.И., Киселёв О.И., Шевченко В.В. Опыт исследования операций и некоторые возможности его использования в оборонно-промышленном комплексе. Научный вестник ОПК России №2 2021, стр. 23-31. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_2\_23 (РИНЦ, ВАК при Минобрнауки)
20. Ерешко Ф.И., Киселёв О.И., Шевченко В.В. Игровая модель производственно-экономической деятельности оборонной организации. Научный вестник ОПК России №3 2021, стр. 26-33. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_3\_26 (РИНЦ, ВАК при Минобрнауки).
21. Бродский Ю.И., Ерешко Ф.И., Шевченко В.В. Об алгоритмическом обеспечении программного комплекса имитационного игрового моделирования. Научный вестник ОПК России №3 2021, стр. 18-25. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_3\_18 (РИНЦ, ВАК при Минобрнауки)
22. Кононенко А.Ф., Карпусь Н.П., Кузин А.Г., Шевченко В.В. Игровые операционные модели процесса федерально-регионального управления развитием ОПК РФ. Научно-технический журнал «Системы и средства связи, телевидения и радиовещания», №1,2 2007, стр. 23-31. М.: Федеральное агентство по промышленности, ОАО «ЭКОС», 2007.
23. Горелов М.А., Промахина И.М., Шевченко В.В. Задача оценки производственных возможностей экономических подсистем. Москва, Россия: ВЦ РАН, 1995, - 31 стр.
24. Шананин, А. А. Двойственность по Янгу и агрегирование балансов / А. А. Шананин // Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления. 2020. – Т. 493. – С. 81-85.
25. Асемоглу, Д. Введение в теорию современного экономического роста: в 2 кн. / Д. Асемоглу. – М.: Издательский дом «Дело», РАНХ и ГС, 2018. – 1624 с.

**References in Cyrillics**

- 1 Neyman J., Morgenstern, O., Theory of games and economic behavior, translated from English. Moscow, Russia: Nauka, 1970, - 707 p.
- 2 Hermeyer Yu. B., Introduction to the theory of operations research. Moscow: Nauka. 1971 - 384 p.
- 3 Hermeyer Yu. B., Games with non-contradictory interests. Moscow: Nauka, 1976, 328 p.
- 4 Germeyer, Yu. B., Vatel I.A., Games with a hierarchical vector of interests // Moscow, Technical Cybernetics, 1974, №3. pp. 54-69.
- 5 Ereshko F. I., Hierarchical compromises in General relations and parallel threats. Moscow: CC of the USSR Academy of Sciences, 1984, - 18 p.
- 6 Kononenko A. F., On multistep conflicts with information exchange // Journal of computational mathematics and mathematical physics, 1977, Vol. 17, No. 4, pp. 922-931.
- 7 Gorelik V. A., Gorelov M. A., Kononenko A. F., Analysis of conflict situations in control systems. Moscow: Radio and communications, 1991, 288 p.
- 8 Petrov A. A., On Economics in the language of mathematics. Moscow: FAZIS, CC RAS, 2003, 112 p.
- 9 Burkov V. N., Theory of active systems and improvement of economic mechanism. Moscow: Nauka, 1984.
- 10 Pavlovsky Yu. N., The simulation model and the system. Moscow: FAZIS, CC RAS, 2000, 134 p.
- 11 Brodsky Yu. I., Modelniy sintez I modelno-orientirovannoe programmirovaniye. Moscow: CC RAS, 2013, 142 p.
- 12 Kononenko A. F., Shevchenko V. V., Problems of management of production corporations and operational games. Moscow: CC RAS, 2004, - 42 p.
- 13 Kononenko, A. F., Shevchenko V. V., Operational games. Theory and applications. Moscow: CC RAS, 2013, - 136 p.
- 14 Ereshko F. I., Shevchenko V. V., Principles and procedures of operational game scenario modeling // Materials from VSPU-2014. Moscow, Russia: IPC RAS, 2014, pp. 5364-5374.
- 15 Matveeva L. K., Kovalev A.M., Kononenko A. F., Kosenkova S. T., Shevchenko V. V., Application of the operational game modeling apparatus for developing a scenario plan for the development of industrial activities. Moscow: Scientific and technical collection "Questions of defense technology", series 3, issue 1 (338), 2007, pp. 19-27.
- 16 Kononenko A. F., Shevchenko V. V., Methodology of scenario game operational modeling of socio-economic processes, presented on the example of scenario forecasting of the development of the industrial complex of Moscow. Moscow.: Scientific and technical collection "Questions of defense technology", series 3, issue 2 (339), 2007, pp. 44-53.
- 17 Chursin A.A., Shevchenko V.V., About the possibilities of operational gaming scenario modeling activities of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109609/>
- 18 Dovguchits S.I., Mushkov A.Yu., Ereshko F.I. Mathematical modeling in solving problems of information and analytical support for the management of the development of the military-industrial complex. Scientific Bulletin of the Defense Industry of Russia No. 1 2021, pp. 5-15. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_1\_5 (RSCI, Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science)
- 19 Ereshko F.I., Kiselev O.I., Shevchenko V.V. Experience of operations research and some possibilities of its use in the military-industrial complex. Scientific Bulletin of the Defense Industry of Russia No. 2 2021, pp. 23-31. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_2\_23 (RSCI, Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science).
- 20 Ereshko F.I., Kiselev O.I., Shevchenko V.V. Game model of production and economic activity of a defense organization. Scientific Bulletin of the Defense Industry of Russia No. 3 2021, pp. 26-33. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_3\_26 (RSCI, Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science).
- 21 Brodsky Yu.I., Ereshko F.I., Shevchenko V.V. On algorithmic support of the simulation game modeling software package. Scientific Bulletin of the Defense Industry of Russia No. 3 2021, pp. 18-25. DOI 10.52135/2410-4124\_2021\_3\_18 (RSCI, Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science).
- 22 Kononenko A.F., Karpus N.P., Kuzin A.G., Shevchenko V.V. Game operational models of the process of federal-regional management of the development of the defense industry of the Russian Federation. Scientific and Technical Journal "Systems and means of communication, television and Radio broadcasting", No.1,2 2007, pp. 23-31. M.: Federal Agency for Industry, JSC "EKOS", 2007.
- 23 Gorelov M.A., Promakhina I.M., Shevchenko V.V. The task of assessing the production capabilities of economic subsystems. Moscow, Russia: VC RAS, 1995, - 31 p.
- 24 Shaninin, A. A. Duality in Young and aggregation of balances/A. A. Shaninin//Reports of the Russian Academy of Sciences. Mathematics, computer science, control processes. 2020. – T. 493. - S. 81-85.

- 25 Asemoglu, D. Introduction to the theory of modern economic growth: in 2 prince ./D. Asemoglu. - М.: Publishing house "Delo," RANH and GS, 2018. – 1624 pages.

*Феликс Иванович Ерешко, д.т.н., Вычислительный центр им. А. А. Дородницына  
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва ([fereshko@yandex.ru](mailto:fereshko@yandex.ru)),  
Василий Владимирович Шевченко, Вычислительный центр им. А. А. Дородницына  
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва ([vsh1953@mail.ru](mailto:vsh1953@mail.ru))*

**Ключевые слова**

Теория игр, исследование операций, микроэкономика, макроэкономика, сценарное моделирование, информационно-аналитические системы, цифровая платформа.

***Felix Ereshko, Vasily Shevchenko. On models of decision support in the military-industrial complex***

**Keywords**

Game theory, operations research, microeconomics, macroeconomics, scenario modeling, information and analytical system, digital platform.

DOI: 10.34706/DE-2021-04-03

JEL classification: C02 – Математические методы,

**Abstract**

The paper deals with the issues of decision support in the Russian military-industrial complex (MIC). The structure of the complex, the system of counterparties with which its organizations interact in the course of their production and economic activities are analyzed. The decisions made in the process of managing defense organizations of various levels are classified. The model-algorithmic tools of decision support in the military-industrial complex are designated. A holistic and interconnected system of decision support models in the process of complex management is proposed, and procedures for using this system of models are considered.