

УДК: 338.33; 330.4

МАКРОМОДЕЛЬ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

MACRO MODEL OF STRUCTURAL CHANGES IN THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX

По представлению чл.-корр. РАРАН В.С. Сухорученко

Е.Г. Анисимов¹, В.Г. Анисимов², А.М. Сазыкин³, Т.Н. Сауренко¹, Р.Ф. Усиков⁴

*¹Российский университет дружбы народов, ²СПб Политехнический университет Петра Великого,
³АО «НПО Спецматериалов», ⁴МВАртА*

E.G. Anisimov, V.G. Anisimov, A.M. Sazykin, T.N. Saurenko, R.F. Usikov

В статье предложена макромоделю структурных изменений оборонно-промышленного комплекса (ОПК) государства на этапах его эволюционного развития. При этом из обеспечивающих макроизменения процессов микроуровня выделены два ключевых для структуры ОПК: изменение разнообразия ее элементов и востребованность результатов их функционирования. Проявление этих процессов на макроэкономическом уровне представлено динамикой энтропии, присущей структурным изменениям ОПК. В формализованном виде модель представлена дифференциальным уравнением, относящимся к классу уравнений Бернулли. Для него получены аналитические решения и проведен их качественный анализ. Результаты анализа позволяют судить о возможных структурных изменениях ОПК на этапах его эволюционного развития. **Ключевые слова:** оборонно-промышленный комплекс государства, структурные изменения, эволюция, макромоделю, энтропийный подход.

The article proposes a macro model of structural changes in the military-industrial complex (MIC) of the state at the stages of its evolutionary development. At the same time, from the micro-level processes that provide macro-changes, two key ones for the structure of the MIC were singled out: a change in the diversity of its elements and the demand for the results of their functioning. The manifestation of these processes at the macroeconomic level is represented by the dynamics of entropy inherent in structural changes in the MIC. In formalized form, the model is represented by a differential equation belonging to the class of Bernoulli equations. For him, analytical solutions were obtained and their qualitative analysis was carried out. The results of the analysis make it possible to judge about possible structural changes in the MIC at the stages of its evolutionary development. **Keywords:** military-industrial complex of the state, structural changes, evolution, macro model, entropy approach.

Оборонно-промышленный комплекс любого государства (в том числе и Российской Федерации) — это система предприятий, производящих боевую технику, вооружение и боеприпасы. Его основными отраслями в Российской Федерации являются:

- производство ядерного оружия;
- авиационная промышленность;
- ракетно-космическая промышленность;
- производство стрелкового оружия;
- производство артиллерийских систем;
- военное судостроение;

– бронетанковая промышленность и др.

Основным видами организаций, входящих в ОПК являются:

– организации научно-исследовательского профиля, выполняющие теоретические разработки в сфере вооружения, военной и специальной техники;

– конструкторские бюро, создающие опытные образцы (прототипы) оружия, военной и специальной техники;

– производственные предприятия, осуществляющие производство вооружения, военной и специальной техники.

Эти организации имеют различные формы собственности и подведомственны различным органам исполнительной власти. При этом доля государства в подавляющем большинстве организаций ОПК незначительна, а почти в 30 % из них отсутствует вовсе.

Вследствие указанных обстоятельств, с позиций исследования ОПК следует представлять в виде сложной динамической системы, обладающую как свойствами ее элементов, так и целостными свойствами, обусловленными их взаимодействием, пространственным разнесением, концентрацией природных и трудовых ресурсов, объемом и разнообразием производственных мощностей и т.п. [1–9]. К наиболее простым свойствам этой системы можно отнести количество ее элементов. Его нетрудно анализировать, например, путем подсчета их общего количества и распределения по подсистемам — отраслям ОПК и (или) регионам. К сложным целостным свойствам ОПК как системы можно, например, отнести ее устойчивость, способность обеспечивать потребности военной организации государства, способность развиваться и т.п. [10–12].

Целостные свойства ОПК, как системы, не всегда можно изучить путем ее расчленения и анализа отдельных элементов и подсистем. Они не аддитивны, не подчинены принципу суперпозиции. Например, устойчивость отдельных элементов ОПК не гарантирует его устойчивость в целом [13]. В то же время постановка полномасштабного натурного эксперимента для изучения целостных свойств ОПК государства не представляется возможным. В такой ситуации изучение указанных свойств возможно только на основе модельного подхода. Спектр моде-

лей, необходимых для его реализации, достаточно широк: от вербальных до математических, от описательных до прогнозных, объяснительных и управленческих [14–16]. Построение варианта такой модели, обладающей как объяснительными, так и прогнозными свойствами, составляет цель настоящей статьи.

В основу предлагаемой модели положена концепция развития и самоорганизации ОПК как элемента экономики государства. Ее реализация опирается на применение аппарата дифференциальных уравнений. Поскольку ОПК государства развивается во взаимодействии с его экономикой в целом, то есть является открытым, а его эволюции присущи как количественные, так и качественные изменения, причем качественные изменения происходят, когда ОПК находится вне состояния устойчивого равновесия, то для его моделирования применен аппарат нелинейных дифференциальных уравнений. Он позволяет учесть присущую развитию ОПК множественность стационарных состояний, часть из которых являются состояниями устойчивого равновесия, а также то обстоятельство, что внешние воздействия на ОПК государства могут не только модифицировать его равновесную структуру, но и приводить к существенным структурным изменениям. Только вдали от равновесных состояний может возникать новая структура, связывающая пространственно-временные характеристики ОПК с динамическими процессами внутри его. Структурные изменения обусловлены как динамикой потребностей военной организации государства в продукции ОПК, так и непрерывной борьбой между стремлением к эффективности ОПК, а, следовательно, к его специализации, и устойчивости, которая обеспечивается разнообразием производимой продукции и необходимым для этого разнообразием структурных элементов ОПК.

Формализованное представление модели

Поскольку степень специализации повышается при уменьшении разнообразия элементов рассматриваемой системы — ОПК государства, а устойчивость возрастает при его увеличении [17], для моделирования ОПК на макроуровне целесообразно воспользоваться энтропийным подходом, а для процессов микроуровня выде-

лить два ключевых: изменение разнообразия элементов ОПК и востребованность результатов их функционирования. Для количественного описания этих процессов введем параметры:

$\lambda(t)$ — интенсивность роста разнообразия (количества различных типов элементов) ОПК государства в момент времени t ;

$\mu(t)$ — интенсивность потери рентабельности структурными элементами ОПК.

Будем полагать, что макроэкономической характеристикой структуры ОПК государства является ее энтропия $H(t)$. Причем она является непрерывной дифференцируемой функцией времени. Естественно при этом полагать, что характеризуемое энтропией состояние ОПК в момент времени $t + \Delta t$ является функцией его состояния в момент времени t , а также, что изменение состояния (величины H) за промежуток времени Δt пропорционально величине $H(t)$ энтропии в момент времени t . Тогда в первом приближении на макроуровне динамика структуры ОПК описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dH(t)}{dt} = k(t)H(t), \quad t > 0, \quad (1)$$

где $k(t)$ — коэффициент пропорциональности.

Энтропия ОПК государства ограничена как снизу, так и сверху. Нижнее ограничение вытекает из определения энтропии как положительно определенной функции. Ограничение сверху обусловлено конечностью количества различающихся элементов ОПК как системы, а также тем, что структурные изменения этой системы представляют собой в той или иной мере управляемый и самоорганизующийся процесс. Для учета этих обстоятельств в модели (1) коэффициент пропорциональности $k(t)$ представим в виде

$$k(t) = \lambda(t) - B(t),$$

где $B(t)$ — параметр интенсивности диссипации, отражающий процессы управления и самоорганизации при структурной перестройке ОПК. Тогда модель (1) принимает вид

$$\frac{dH(t)}{dt} = [\lambda(t) - B(t)]H(t), \quad t > 0. \quad (2)$$

Структура ОПК формируется во взаимодействии с экономикой государства в целом (внешней средой) на основе реализации национальной экономической политики. Ее формирование состоит в изменении разнообразия и интенсивности использования элементов ОПК. При нулевой интенсивности их использования соответствующие элементы исчезают, поскольку их функционирование в сложившихся в ОПК условиях собственности становится нерентабельным. Особенность ОПК состоит в том, что эти изменения обладают определенной инерционностью. Структура ОПК меняется не сразу. Ее значительная часть сохраняется в течение достаточно длительного времени. Следовательно, в процессе развития ОПК соединяет в себе как диссипативные, так и недиссипативные структуры.

При принятой в моделях (1), (2) детализации связь между интенсивностью диссипации ОПК и уровнем его специализации количественно характеризуется соотношением

$$B(t) = \mu(t)H(t). \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в формулу (2), окончательно получим

$$\frac{dH(t)}{dt} - \lambda(t)H(t) = -\mu(t)H^2(t), \quad t > 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой эволюционную макромоделю структурных изменений ОПК государства. Параметры $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ в нем определяются на основе непосредственного наблюдения за структурными изменениями ОПК в период времени, предшествующий моделированию, а также путем прогнозирования последствий реализации экономической и военно-экономической политики государства. В них, в частности, учитывается и случайная составляющая структурных изменений ОПК.

Исследование модели

Исследование модели (4) связано с решением двух групп вопросов. Первую из них составляют количественные, вторую — качественные вопросы.

К вопросам количественного исследования относятся аналитическое или численное решение уравнения (4).

К вопросам качественного исследования относятся:

- определение количества состояний равновесия ОПК государства;
- оценка устойчивости каждого из этих состояний;
- выявление точек бифуркации (ветвления) решений уравнения (4).

Соотношение (4) относится к классу так называемых дифференциальных уравнений Бернулли [18–20]. Для его аналитического решения обозначим

$$H(t) = \frac{1}{X(t)}. \quad (5)$$

Тогда

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{X(t)} \right) = -\frac{1}{X(t)^2} \frac{dX(t)}{dt}. \quad (6)$$

Подставив формулы (5), (6) в соотношение (4), получим

$$-\frac{1}{X(t)^2} \frac{dX(t)}{dt} = \lambda(t) \frac{1}{X(t)} - \mu(t) \frac{1}{X(t)^2}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует

$$\frac{dX(t)}{dt} + \lambda(t)X(t) = \mu(t). \quad (8)$$

Соотношение (8) представляет собой неоднородное линейное уравнение. Его решение может быть получено методом вариации произвольной постоянной (методом Лагранжа). Для этого, прежде всего, найдем общее решение соответствующего соотношению (8) однородного уравнения

$$\frac{dX(t)}{dt} = -\lambda(t)X(t). \quad (9)$$

Уравнение (9) представляет собой однородное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Его можно представить в виде

$$\frac{dX(t)}{X(t)} = -\lambda(t)dt. \quad (10)$$

Построим решение этого уравнения в форме Коши при условии, что за начало отсчета принято $t = 0$. Из (10) непосредственно следует

$$\ln X(t) - \ln X(0) = -\int_0^t \lambda(\tau)d\tau,$$

где $X(0)$ — начальное условие.

Следовательно, общее решение уравнения (10) в форме Коши имеет вид

$$X(t) = X(0) \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau\right].$$

В соответствии с методом Лагранжа, решение неоднородного уравнения (8) ищется в том же виде, что и решение соответствующего ему однородного уравнения (9), но вместо произвольной постоянной C берется некоторая непрерывно дифференцируемая функция $C(t)$. Следовательно, искомое решение уравнения (8) будем искать в виде

$$X(t) = C(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau\right]. \quad (11)$$

Процедура получения решения уравнения (8) состоит в подстановке выражения (11) в уравнение (8), определении из полученного равенства функции $C(t)$ и подстановке ее в соотношение (11).

В результате получаем

$$X(t) = X(0) e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau} - \int_0^t e^{-\int_\tau^t \lambda(s)ds} \mu(\tau)d\tau. \quad (12)$$

С учетом (5), переходя к исходному уравнению (4), получим

$$H(t) = \left\{ \frac{1}{H(0)} e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau} - \int_0^t e^{-\int_\tau^t \lambda(s)ds} \mu(\tau)d\tau \right\}^{-1}. \quad (13)$$

При $\lambda = \text{const}$ соотношение (13) принимает вид

$$H(t) = \left\{ e^{-\frac{\lambda t}{H(0)}} - \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} \mu(\tau) d\tau \right\}^{-1}. \quad (14)$$

Если при этом и $\mu(t) = \text{const}$, то соотношение (12) принимает вид

$$H(t) = \frac{\lambda}{\mu} \frac{1}{1 - \left(1 + \frac{\lambda}{H(0)\mu}\right) e^{-\lambda t}}. \quad (15)$$

Из формулы (15) непосредственно следует, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} H(t) = \frac{\lambda}{\mu},$$

то есть энтропия распределения количества разнородных элементов в ОПК государства не возрастает беспредельно, а ограничена сверху величиной $\frac{\lambda}{\mu}$.

Так как из функционального определения энтропии как меры специализации ОПК следует, что $H(t) \geq 0$, то областью значений функции

$H(t)$ является отрезок $\left(0; \frac{\lambda}{\mu}\right)$.

Стационарные точки рассматриваемой системы (ОПК государства) определяются из условия $\frac{dH(t)}{dt} = 0$. Одна из этих точек соответствует нулевой энтропии, то есть абсолютной специализации ОПК. Остальные являются корнями уравнения

$$\lambda(t) + \mu(t)H(t) = 0.$$

Если зависимость

$$F(H) = \lambda(t) + \mu(t)H(t)$$

монотонна, то существует одна нетривиальная стационарная точка $H(t) = \frac{\lambda(t)}{\mu(t)}$. Если она немонотонна, то возможно существование и других нетривиальных стационарных точек. При этом очевидно, что достигнуть стационарного состо-

яния, удовлетворяющего физически разумным требованиям, невозможно, если

$$\frac{\lambda(t)}{\mu(t)} < 0. \quad (16)$$

Из выражения (16), в частности, следует, что высокая специализация ОПК государства в условиях нестационарной внешней среды (экономики в целом) ведет к ее неустойчивости и, в конечном счете, нарушению военной безопасности государства.

В целом же уравнение (4) позволяет при указанных ранее допущениях прогнозировать траекторию структурных изменений ОПК государства на этапах его эволюционного развития, выявлять стационарные состояния, и точки бифуркации и с учетом этого обоснованно подходить к формированию военно-экономической политики и в целом экономической политики государства.

Литература

1. Серба В.Я. Роль экономики в обеспечении военного потенциала государства (на примере Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.) // В сборнике: Современный менеджмент и экономика: проблемы и перспективы развития. Труды Международной научно-практической конференции специалистов, ученых, аспирантов, студентов. 2015. С. 369–379.
2. Сауренко Т.Н., Чварков С.В. Экономическая политика в системе национальной безопасности Российской Федерации // Вестник Академии военных наук. 2017. № 1 (58). С. 137–144.
3. Анисимов В.Г. Макромодель структурных изменений экономики государства на этапах ее эволюционного развития / В.Г. Анисимов и др. // Журнал исследований по управлению. 2020. Т. 6. № 4. С. 69–77.
4. Тебекин А.В. Методический подход к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий / А.В. Тебекин и др. // Журнал исследований по управлению. 2019. Т. 5. № 1. С. 65–72.
5. Анисимов Е.Г. Модель поддержки принятия решений при формировании инновационной стратегии предприятия / Е.Г. Анисимов и др. // Экономика сельского хозяйства России. 2016. № 3. С. 53–59.

6. Ильин И.В. Математические методы и инструментальные средства оценивания эффективности инвестиций в инновационные проекты / И.В. Ильин и др. — Санкт-Петербург. 2018. 289 с.
7. Юрьев В.Н. Модели и методы системы управления инновационно-промышленным кластером / В.Н. Юрьев и др. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2012. № 4 (151). С. 198–206.
8. Saurenko T.N., Sonkin M.A. The model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise Journal of Physics: Conference Series 2017. Т. 803. № 1. P. 012006.
9. Ведерников Ю.В. Модели и алгоритмы интеллектуализации автоматизированного управления диверсификацией деятельности промышленного предприятия / Ю.В. Ведерников и др. // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2014. Вып. 5–6 (71–72). С. 61–72.
10. Анисифоров А.Б. Инновационное развитие промышленного кластера / А.Б. Анисифоров и др. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». 2012. 344 с.
11. Ерасова Е.А. Научно-технические и экспортные возможности российского оборонно-промышленного комплекса // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5: Экономика. 2004. № 1 (5). С. 28–33.
12. Бардулин Е.Н. Обоснование направлений повышения экономической безопасности предприятия оборонно-промышленного комплекса / Е.Н. Бардулин и др. // Научный вестник Вольского военного института материально-го обеспечения: военно-научный журнал. 2019. № 2 (50). С. 130–135
13. Чварков С.В. Учет неопределенности при формировании планов инновационного развития военно-промышленного комплекса / С.В. Чварков и др. // Актуальные вопросы государственного управления Российской Федерации: Сборник материалов круглого стола. Военная академия генерального штаба вооруженных сил Российской Федерации, Военный институт (Управления национальной обороной). 2018. С. 17–25.
14. Тебекин А.В. Модель прогноза стоимости и сроков модернизации промышленных предприятий / А.В. Тебекин и др. // Журнал исследований по управлению. 2019. Т. 5. № 3. С. 31–37.
15. Чварков С.В. Модель планирования процессов производства ракетно-артиллерийского вооружения / С.В. Чварков и др. // Известия РАН. 2018. № 3 (103). С. 141–147.
16. Анисимов Е.Г. Типовые модели и алгоритмы задач поддержки принятия решений при управлении обеспечивающим компонентом военной организации государства / Е.Г. Анисимов и др. — Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации. 2019. 141 с.
17. Чварков С.В. Обоснование путей обеспечения устойчивости планов инновационного развития оборонно-промышленного комплекса / С.В. Чварков и др. // Военная мысль. 2019. № 7. С. 114–119.
18. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А. Механика сплошных сред. Часть 1. — М.: Физматлит. 2000. 256 с.
19. Анисимов В.Г. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях: Том 1 / В.Г. Анисимов и др. — Москва: Военная Академия Генерального штаба Вооруженных Сил РФ. 2017. 362 с.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Издание 5-е, стереотипное. — М.: Физматлит. 2001. 736 с.