

А.В. Леонов, доктор экономических наук,  
профессор

А.Ю. Пронин, кандидат технических наук

## Резонансы в развитии системы вооружения

*В статье представлен новый взгляд на формирование синергетических эффектов в развитии системы вооружения. В основу исходного методологического ориентира – научной гипотезы положено предположение, что в основе синергетических эффектов лежат резонансы, которые, в свою очередь, зарождаются на микроуровне системы вооружения, начиная с ранних этапов обоснования создания научно-технического задела для перспективных образцов ВВСТ. Показано, что при обосновании рациональных вариантов системы вооружения необходимо учитывать процессы самоорганизации, происходящие на микроуровне, приводящие к появлению резонансов в масштабе системы вооружения.*

### Введение

В настоящее время признано, что поиск синергетических эффектов от совместного применения различных технологий, технических устройств в образцах ВВСТ и от совместного применения образцов ВВСТ различного типа (традиционных и новых нетрадиционных) – одно из важнейших направлений в повышении эффективности современной системы вооружения [1-3]. Например, современные концепции построения высокоточного оружия, робототехники, оружия направленной энергии, ведения сетецентрических войн построены на оптимальном сочетании и совместном использовании технических возможностей средств разведки, управления и поражения. Переход от их планирования развития и применения как отдельных элементов и подсистем к технологическому сопряжению и применению как единого технического комплекса обусловил резкий скачок в потенциальной эффективности современной системы вооружения [1].

В данной статье представлен новый взгляд (подход) на формирование синергетических эффектов в развитии системы вооружения. Установлено, что в основе синергетических эффектов лежат резонансы, которые, в свою очередь, зарождаются на микроуровне системы вооружения, начиная с ранних этапов обоснования создания научно-технического задела для перспективных инновационных образцов ВВСТ. Поэтому при обосновании рациональных вариантов системы вооружения необходимо учитывать процессы, происходящие на ее микроуровне и приводящие к появлению резонансов в масштабе системы вооружения. В этой связи в статье рассмотрены следующие вопросы: определения резонанса; механизм возникновения и роль резонансов при сбалансировании; формулирование задач и теоремы резонансной самоорганизации.

### 1. Определения резонанса

Резонанс – это понятие, обозначающее физическое явление. Согласно физической энциклопедии [4] резонанс определяется следующим образом: «резонанс» (от франц. resonance, от лат. resono – откликаюсь) – частотно-избирательный отклик колебательной системы на периодическое внешнее воздействие, при котором происходит резкое возрастание амплитуды стационарных колебаний. Наблюдается при приближении частоты внешнего воздействия к определенным, характерным для данной системы, значениям. Другими словами резонанс – это явление резкого возрастания амплитуды колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебаний системы или к некоторым значениям (резонансным частотам), определя-

емым свойствами системы. При этом увеличение амплитуды – это лишь следствие резонанса, а причина – в совпадении внешней (возбуждающей) частоты с внутренней (собственной) частотой колебательной системы. С использованием явления резонанса можно усилить даже весьма слабые периодические колебания.

Обобщение и анализ более 200 определений резонанса, принятых в различных областях научного знания (физика, химия, математика, психология, лингвистика, медицина и др.), показал, что все определения резонанса сводятся, по сути, к постулированию одного общего утверждения, а именно: резонанс возникает вследствие совпадения внешних сил (процессов) и внутренних возможностей системы, а следствием резонанса является резкое изменение (увеличение и уменьшение) макроскопических характеристик системы. Таким образом, ключевым словом в известных определениях резонанса является слово «совпадение».

В последнее время появляются новые трактовки понятия «резонанс» в различных и далеко не физических областях: в социальной сфере, политологии и др. В частности, встречаются такие фразы и словосочетания: «...это событие вызвало большой резонанс в обществе», «резонансное событие» и даже «резонансная история» и др. При этом следует отметить, что многие определения и характеристики резонанса в различных областях применения почти аналогичны физическому смыслу этого понятия.

Интуитивно физическую сущность явления резонанса можно понять на примерах струны и качелей. Если вынудить струну отклониться от положения равновесия, а затем приложить к колеблющейся струне внешнюю силу, действующую с частотой, равной собственно частоте колебаний струны, то амплитуда колебаний струны резко возрастает. Аналогично, амплитуда колебаний качелей усиливается, если их дополнительно раскачивать в такт с периодом собственных колебаний качелей. Кроме того, существуют уровни, на которых возникают и существуют резонансы. С энергетической точки зрения резонанс характеризуется как передача энергии между двумя связанными периодическими движениями с равными (или кратными) частотами.

Резонанс как механическое и акустическое явление впервые описан итальянским ученым Г. Галилеем, а в электромагнитных системах на примере колебательного контура – английским ученым Дж. Максвеллом (1868). Однако суть этого явления заметили уже давно, при этом резонансом, конечно, его не называя. Действительно, еще древнегреческий мыслитель Аристотель (IV век до н. э.) предполагал резонанс при рассмотрении процесса самоорганизации как одной из важнейших причин развития «всего сущего»: самоорганизация – «это когда что-то происходит по совпадению с явлениями, возникающими ради чего-нибудь, т. е. целевым образом» [5]. Другими словами, самоорганизация – это явление «по совпадению» изначальной цели с одной из возможных форм ее реализации. Это «совпадение» и есть, по сути, «резонанс» как высшее проявление процесса самоорганизации. Данное определение вполне соответствует общему смыслу физического определения резонанса.

Основоположники научной теории самоорганизации [6-11] рассматривали резонансы в процессах «далеких от состояния равновесия». При этом резонансы, обусловленные внутренними свойствами системы, обеспечивают ее способность за счет упорядочения своего состава и структуры адаптироваться к изменениям внешних условий. Из этого следует, что резонансы возникают и формируются только в неравновесном состоянии системы. Вполне очевидно, что использование только методологии традиционного системного подхода для поиска, обоснования и использования резонансных явлений недостаточно, необходимо привлекать методологический аппарат теории самоорганизации, поскольку только при рассмотрении неравновесного состояния системы можно «увидеть» резонансы и обосновать пути их формализованного описания и практического использования. Некоторые положения теории самоорганизации примени-

тельно к развитию инновационных систем представлены авторами в работах [2, 12-18]. Причины и следствия резонансной самоорганизации представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Причины и следствия резонансной самоорганизации

Приведем еще один физический пример резонансной самоорганизации. В 1960-е годы специалист по квантовой оптике немецкий физик Г. Хакен впервые установил [7], что процесс генерации когерентного излучения в лазерной системе является ничем иным, как самоорганизацией в поведении активных атомов под влиянием внешних факторов, выводящих систему далеко за состояние равновесия. Физический механизм когерентной самоорганизации в общих чертах описывается следующим образом. При пропускании тока через трубку, заполненную газом, отдельные атомы или молекулы газа, возбуждаясь, испускают последовательность независимых друг от друга световых волн (цуги). Отдельные короткие световые волны некогерентны и хаотичны на микроскопическом уровне. Однако при увеличении силы тока выше определенного уровня, до сих пор независимые друг от друга последовательности волн превращаются в один гигантский высокоупорядоченный цуг. Испускаемые лазером волны высокоупорядочены, однородны и когерентны. Возникающая при этом когерентная световая волна является своего рода параметром порядка, подчиняя себе отдельные атомы и вынуждая их осциллировать в такт. Отдельные атомы (молекулы) начинают вести себя как одинаково настроенные антенны, а испускаемые ими волны накладываются друг на друга, в результате чего происходит многократное усиление синхронизированных по фазе макроскопических световых волн и, как следствие, возникает резонанс.

В приведенной физической модели следует отметить следующее. С одной стороны какая-то отдельная, наиболее активная в данное время и в данном месте, световая волна (параметр порядка), подчиняет себе другие отдельные атомы, а с другой стороны, эта же волна (параметр порядка) сама оказывается результатом взаимодействия отдельных атомов. Таким образом, в приведенном примере с когерентным лазерным излучением основой также служат резонансы.

Из приведенных выше определений и примеров резонанса представляется возможным сформулировать следующие выводы:

существует глубокая связь между процессами, которые происходят в системах на микроскопическом уровне, возникновением резонансов и соответствующими макроскопическими синергетическими эффектами в системах;

резонанс наступает при совпадении внешних условий (процессов) с внутренними возможностями системы;

«вдали от равновесия» при одних и тех же значениях внешних параметров возможно несколько различных решений, т. е. возникает нелинейность, которая может быть описана математически и, наоборот, при различных параметрах внешних воздействий может существовать несколько уровней резонансов, в рамках каждого из которых может быть несколько различных математических решений;

следствием резонансов являются научно обоснованные структуры (варианты) системы (обеспечивающие синергетические эффекты), один из которых подлежит практической реализации.

Таким образом, в основе синергетических эффектов лежат резонансы, которые «отвечают» за невозможность не учитывать взаимодействия между элементами сложной системы или, другими словами, за объективную необходимость учитывать внутренние процессы на микроуровне системы и возникновение синергетических эффектов на ее макроуровне. И, наоборот, неучет внутренних процессов лишает нас возможности обнаружить резонансы и обосновать соответствующие синергетические эффекты. Именно поэтому представляется крайне необходимым при обосновании путей развития системы вооружения искать резонансы и соответствующие им синергетические эффекты.

Однако для практического использования возможностей резонансных явлений необходимо реализовать определенные этапы, т. е. «подготовить» резонансы в системе. Основными этапами резонансной самоорганизации являются:

- определение цели создания системы;
- обоснование перечня исходных элементов;
- формирование множества возможных вариантов построения системы;
- упорядочение элементов в соответствии с заданными внешними критериями и ограничениями (сбалансирование);
- обоснование выбора резонансных вариантов (варианта).

Собственно, управляемый процесс программно-целевого планирования развития системы вооружения, включающий в себя перечисленные выше этапы резонансной самоорганизации является, по сути, процессом, в котором происходит обоснование, формирование и выбор резонансных вариантов развития системы вооружения, обеспечивающих достижение требуемых синергетических эффектов.

В этой связи возникает комплекс новых задач обоснования и практического использования резонансов, основными из которых являются следующие задачи (элементы теории резонансов):

- выявление механизма (источников, причин, объектов) возникновения резонансов;
- обоснование принципов возникновения и существования резонансов;
- формирование классификации резонансов;
- обоснование системы индикаторов и измерителей резонансов;
- обоснование многовариантности и многоуровневости резонансов, критериальной базы и ограничений резонансов;
- формирование синергетических эффектов резонансов и др.

Ниже представлены результаты анализа основных элементов теории резонансов в развитии системы вооружения.

## **2. Механизм возникновения и роль резонансов при сбалансировании**

Сбалансирование является одним из ключевых этапов программно-целевого планирования развития системы вооружения [1-3, 13-15, 24]. Анализ литературных источников позволил представить в обобщенном виде смысл основных понятий сбалансирования (таблица 1).

Представленные обобщения и уточнения, по нашему мнению, не противоречат основному смыслу понятий, используемых в области сбалансирования ВВСТ. В качестве одного из параметров сбалансирования рассматривается согласованность элементов. В работах по обоснованию программных документов, сформированные варианты системы вооружения можно считать полностью сбалансированным, если использованы внутренние ресурсы самоорганизации. Современная тенденция к рациональному использованию ассигнований, выделяемых на создание

ВВСТ, объективно вызывает необходимость совершенствования существующих и поиска новых теоретических подходов, методов и способов сбалансирования. Один из таких подходов связан с учетом при сбалансировании внутренних процессов самоорганизации.

Таблица 1 – Смысл основных понятий сбалансирования

Понятие	Смысл
Сбалансирование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вид, направление деятельности;</li> <li>- этап обоснования создания ВВСТ и развития системы вооружения;</li> <li>- механизм рационального распределения ресурсов между элементами системы (балансируемые величины – объемы ассигнований; критерии сбалансирования – уровень решения задач, эффективность, качество);</li> <li>- процесс упорядочения (согласования) элементов системы;</li> <li>- технология эффективного управления развитием системы;</li> <li>- метод учета неопределенностей при синтезе сложной системы и разрешения противоречий, сложившихся в системе.</li> </ul>
Сбалансировать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уравновесить;</li> <li>- согласовать;</li> <li>- соразмерить (например: силы, возможности и др.).</li> </ul>
Сбалансированность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- результат процесса сбалансирования (например, пропорциональные соотношения между элементами);</li> <li>- равновесие между элементами системы;</li> <li>- внутренняя связь и взаимозависимость всех элементов системы.</li> </ul>
Сбалансированный	<ul style="list-style-type: none"> <li>- характеристика системы;</li> <li>- принцип системы (принцип пропорциональности).</li> </ul>

Основные физические параметры процесса самоорганизации, которые необходимо учитывать при сбалансировании, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физические параметры процесса самоорганизации

Физический процесс	Обозначение	Смысл физического параметра
Взаимодействия	K1	Отражает взаимное влияние элементов.
Корреляции	K2	Отражает связи, возникающие между элементами (ближкодействующие корреляции).
Когерентность	K3	Отражает связи, возникающие между частями системы (дальнодействующие корреляции).
Резонанс	R	Отражает такую согласованность элементов, при которой выполняются критериальные требования к сбалансированности элементов.

Необходимость учета данных физических параметров процесса самоорганизации обусловлена возможностью каждого элемента образовывать с другими элементами определенные связи и объединяться в синергетические кластеры. Такую возможность можно определить как «валентность» (по аналогии с валентностью химических элементов): чем с большим количеством элементов данный элемент способен образовывать связи, тем больше его валентность. Инновационные элементы могут иметь большую валентность. Очевидно, что данный параметр необходимо учитывать при анализе внутренних процессов самоорганизации в ходе сбалансирования.

Рассмотрим приведенные в таблице 2 понятия самоорганизации применительно к этапу сбалансирования программных элементов (ПЭ), например, технологической программы (ТП) по созданию перспективных ВВСТ.

*Взаимодействия.* Все ПЭ системы прямо или косвенно связаны друг с другом. Поэтому даже незначительные изменения (например, удаление или добавление нового ПЭ в систему) в общем



случае меняет отношение между остальными ПЭ, приводя к рассогласованию, разупорядоченности (разбалансированности) ТП, сформированной в предыдущем программном цикле.

Если взаимное влияние элементов не учитывать, то ТП будет представлять собой просто совокупность несвязанных между собой элементов. И, наоборот, если взаимодействия учитывать, то мы можем получить согласованную (упорядоченную), т. е. сбалансированную ТП.

Таким образом, под взаимодействием понимается такое взаимное влияние элементов в процессе сбалансирования ТП, которое приводит к появлению корреляционных связей, когерентности и, в конечном счете, возникновению резонансной структуры.

*Корреляции* – это процесс установления связей между элементами.

Основные виды корреляций, которые могут возникать между ПЭ, показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Виды корреляций

По своему масштабу корреляции могут быть близкодействующими (между элементами) и далекодействующими – когерентность (между частями системы или ТП). Рассмотрим вначале близкодействующие корреляции.

Корреляции – это не сами взаимодействия, а связи элементов друг с другом (корреляционные связи). Согласованность достигается на основе целенаправленного налаживания и учета корреляционных связей между элементами при формировании ТП. Поясним различие между понятиями «корреляции» и «взаимодействия». Существенное различие между этими понятиями состоит в том, что взаимодействия элементов является частью общего определения понятия «система», а корреляции описывают связи между этими же элементами в рамках работ по формированию ТП.

Роль корреляционных связей состоит в следующем. В случае их учета мы можем получить строго упорядоченную совокупность элементов, а в случае их не учета – обычную несвязанную или слабо связанную совокупность элементов («вакуум корреляций»). Таким образом, несбалансированная система – это система, в которой взаимодействия, а, следовательно, корреляции не учитываются (исключаются) при формировании ТП.

По сложности корреляции могут быть парные, тройные и т. д. («поток корреляций», подобно «общению» между людьми при их встречах). В результате согласования элементов различные состояния корреляций переходят друг в друга. При этом информация от таких взаимодействий передается к большему числу элементов, т. е. корреляции при упорядочивании элементов носят волновой и цепной характер. Обобщая на всю совокупность элементов, можно утверждать, что в результате согласования элементов в ТП различные состояния корреляций переходят друг в друга. Поток корреляций носит внутренний характер.

По своей силе корреляции могут быть разрушающими и созидательными. «Разрушающие корреляции» нарушают установившиеся связи между элементами. Как правило, это происходит в начальный период формирования ТП, когда появляются новые элементы или выводятся из со-

става ТП устаревшие элементы и др. «Созидательные корреляции», созданные по соответствующим механизмам, приводят к установлению «порядка» в ТП.

Динамика корреляций – это соответствующий процессу формирования ТП процесс установления связей между элементами. Механизм корреляций может быть основан на установлении согласованности между ними в результате действия какого-либо оператора упорядочения, например, приоритетности элементов (параметр порядка) по их важности. Таким образом, сбалансирование – это процесс установления корреляций между элементами, а сбалансированная система – это система, в которой установлены корреляционные связи. Распространение корреляционных связей на части ТП приводит к появлению дальнедействующих корреляций – когерентности.

*Когерентность* – это способ осуществления дальнедействующих корреляций между частями ТП. Поэтому дальнедействующие корреляции зависят от граничных условий, т. е. масштаба рассмотрения ПЭ в рамках ТП. Если близкодействующие корреляции определяются взаимодействием между отдельными элементами, то дальнедействующие корреляции (когерентность) определяются общими характеристиками ТП (затраты, эффективность).

Таким образом, учет дальнедействующих корреляций при формировании ТП – это способ согласования ее частей. В этом случае сбалансированная ТП представляет собой единое целое, каждая часть которого синхронно и адекватно реагирует на поведение всех остальных частей. Корреляционные связи между элементами и когерентно-согласованное поведение частей ТП приводит к появлению резонансов.

*Резонансы* – это наивысшая форма корреляционно-когерентной связи (ККС) между элементами и частями ТП. Резонансы возможны только при учете взаимного влияния элементов. Резонансы как бы «отвечают» за невозможность исключить согласованное поведение элементов и частей ТП. Следовательно, сбалансированная ТП будет представлять собой сложное когерентное образование – резонансную структуру, в которой все элементы согласованы и упорядочены в соответствии с заданными критериями сбалансирования. Таким образом, между элементами устанавливается резонансно-индуктивная связь, при которой поведение элементов строго согласовано. Смысл «индуктивности» в данном случае состоит в учете «наведенной» связи, т. е. взаимного влияния элементов друг на друга при проведении мероприятий по сбалансированию программных документов. Источниками появления корреляций и когерентности, приводящих к установлению резонансно-индуктивной связи, могут быть:

а) перекрытие функциональных возможностей элементов по решению тех или иных задач, например: при совместном использовании традиционных и новых технологий;

б) перераспределение задач между традиционными и новыми элементами при их совместном использовании, которое приводит к повышению эффективности решения какой-либо функциональной задачи (или множества задач), за счет возникновения синергетического эффекта при двух типах взаимодействий: традиционного и нового элемента; нового элемента с традиционным элементом;

в) перемещение элементов по шкале жизненного цикла «вправо» или «влево» при сбалансировании программных мероприятий и т. д.

Приведем пример (рисунок 3) иллюстрирующий механизм возникновения резонансно-индуктивной связи между двумя элементами системы [2].

Допустим, имеются два элемента, соответственно, традиционный и новый элемент, собственные функции которых  $F_1$  и  $F_2$  направлены на решение совокупности задач. В данном случае под собственными функциями понимаются технические, технологические или технико-экономические характеристики рассматриваемых элементов. Эффективность использования элементов

для решения задач будет определяться соответствующими показателями  $W_1(F_1)$  и  $W_2(F_2)$ . Структурные связи между элементами при проектировании и их взаимодействия в процессе решения задач определяют новые функции  $F_1^*$  и  $F_2^*$ , таким образом, что первый элемент может применяться для решения задач первого и наоборот. Результат взаимодействия системы из двух рассматриваемых элементов будет таков:

$$\begin{aligned} W_1(F_1^*) &= W_1(F_1) + \Delta W(F_{12}), \\ W_2(F_2^*) &= W_2(F_2) + \Delta W(F_{21}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta W(F_{12})$ ,  $\Delta W(F_{21})$  – соответственно, приращения эффективности при использовании первого элемента со вторым и второго с первым при решении задач.

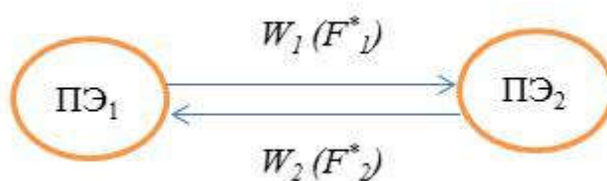


Рисунок 3 – Механизм возникновения резонансно-индуктивной связи между двумя элементами системы

При этом суммарный синергетический эффект  $\Delta W_{12}$  будет составлять:

$$\Delta W_{12} = W_1(F_1^*) + W_2(F_2^*) \geq W_1(F_1) + W_2(F_2). \quad (2)$$

Конечно, приведенный пример отражает лишь качественную сторону возникновения резонансно-индуктивной связи и только для двух элементов. Однако представляется возможным обобщить данный механизм на множество элементов ТП. Поэтому весьма актуальными становятся исследования, направленные на разработку общих методологических основ и методического аппарата для формирования множества возможных вариантов резонансно-индуктивной связи и получения строгих количественных оценок их эффективности с целью применения для решения практических задач. Именно резонансами объясняются всевозможные синергетические эффекты, возникающие при совместном использовании традиционных и новых (в том числе нетрадиционных) элементов в составе сложной системы [1, 2, 12-18, 23].

Исходя из выше изложенного, сформирована следующая классификация резонансов в системе (рисунок 4).

Рассмотрим классификацию резонансов.

1) По форме:

- точка;
- интервал;
- объем (пространственно-временная конфигурация, структура, вариант системы).

2) По уровням рассмотрения объектов:

- микроуровень (элементы системы – технологии, функционально-технологические блоки, модули и др.);
- макроуровень (подсистемы – части системы).

3) По этапам обоснования создания и развития системы:

- технологические этапы, в том числе обоснование создания НТЗ;
- этапы проектирования элементов системы;
- этапы создания системы;



- этапы промышленного производства;
- этапы применения и т. д.

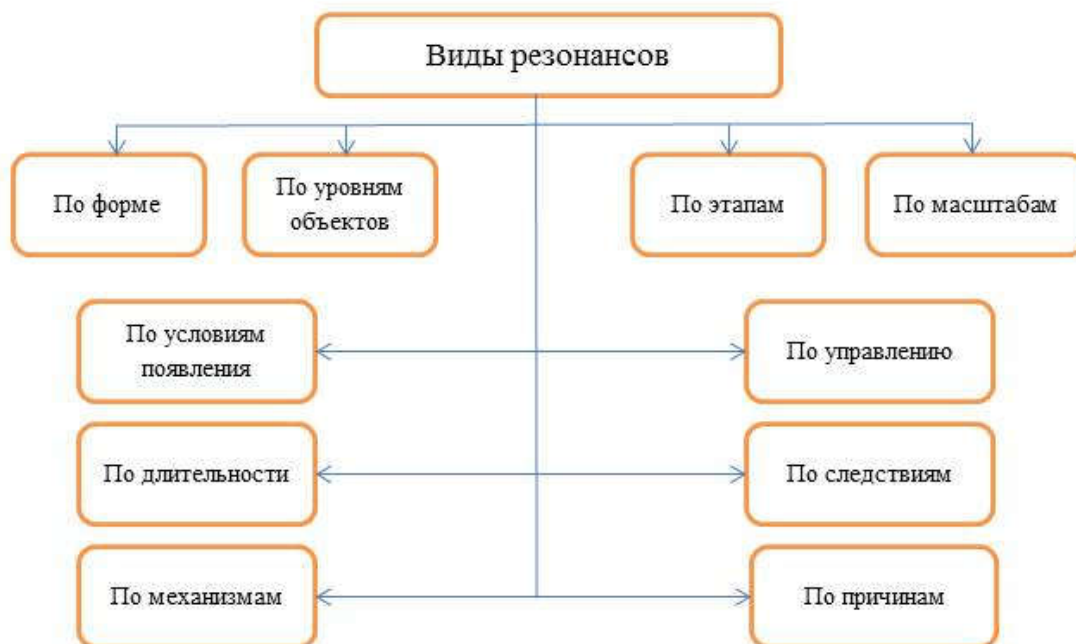


Рисунок 4 – Классификация резонансов

4) По масштабам:

- внутренние (на макроуровне);
- внешние (на макроуровне).

5) По условиям появления резонансных явлений:

- равновесное состояние системы;
- неравновесное состояние системы.

6) По источникам и причинам:

- необходимость учета внешних вызовов и угроз при обосновании цели создания и развития системы;
- необходимость учета ограничений финансово-экономических и временных и других ресурсов при создании и обосновании развития системы;
- необходимость учета существующего технического, технологического и экономического состояния системы.

7) По длительности и последовательности:

- кратковременный (ККС, устанавливаемые между элементами в процессе сбалансирования);
- длительный (это резонансный вариант системы, сформированный в цикле программно-целевого планирования и подлежащий практической реализации);
- последовательно-циклический (в нескольких циклах программно-целевого планирования).

8) По механизмам достижения резонансов, т. е. механизмам резонансных воздействий на элементы:

- целенаправленное упорядочение элементов;
- стохастическое поведение элементов в системе.

9) По следствиям (синергетическим или интегральным эффектам):

- приращение эффективности системы;
  - снижение затрат на создание системы;
  - сокращение сроков создания элементов и всей системы в целом и т. д.
- 10) По возможности управления:

- управляемые;
- неуправляемые.

Рассмотрим возможность управления резонансами. Формирование резонансных структур – это управляемый процесс. Резонансы устанавливаются в процессе обоснования и формирования ТП по созданию перспективных образцов ВВСТ. В этот период создаются, регулируются и корректируются резонансы. Резонансными воздействиями называются внешние воздействия на элементы ТП, согласованные с возможностями элементов и частей ТП.

### 3. Формулирование задач и теоремы резонансной самоорганизации

На основе учета корреляционно-когерентных связей и резонансов можно построить уравнение сбалансирования, которое устанавливает алгоритм упорядочения элементов в соответствии с заданными (требуемыми) критериями сбалансированности, а учет ККС в этом уравнении позволит найти резонансные варианты.

В наиболее общем виде уравнение сбалансирования для поиска резонансных вариантов можно записать в следующем виде:

$$R(S^*) = S(K_1, K_2, \dots, K_n), \quad (3)$$

где  $R(S^*)$  – резонансная структура (сбалансированная ТП), в которой все элементы строго упорядочены в соответствии с требуемыми критериями сбалансированности;

$(K_1, K_2, \dots, K_n)$  –  $n$ -мерный вектор, характеризующий текущее состояние упорядоченности элементов.

В принципе, есть два варианта решения уравнения сбалансирования: с учетом и без учета ККС, но при этом оценки уровня сбалансированности вариантов системы будут различными.

Однако построение и решение уравнения сбалансирования аналитическими методами с учетом ККС связей между элементами представляет собой весьма сложную задачу. Теоретически можно показать, что решение аналитической задачи по учету множества запутанных взаимодействий элементов сводится к сумме многочисленных простых взаимодействий между всего лишь двумя элементами, как это было показано ранее в выражениях (1) и (2). Затем, объединив результаты решения частных задач можно получить решение общей задачи сбалансирования с учетом внутренних процессов самоорганизации.

Однако эта теоретическая задача является предметом отдельного исследования. При решении практических задач сбалансирования используют другой оптимизационный подход [15]. Суть данного подхода заключается в следующем. Поскольку каждому состоянию упорядоченности элементов соответствует какой-то вариант системы, то решение уравнения сбалансирования (3), по сути, сводится к формированию множества возможных вариантов упорядочения элементов с учетом ККС. Такие варианты, по аналогии с химической терминологией, можно определить как изомеры. Существуют и другие примеры изомерии, например, явление ядерной изомерии. Это явление обнаружил в 1933 году российский физик-ядерщик И.В. Курчатов. Ядерная изомерия заключается в том, что свойства ядра зависят не только от количества частиц, но и от его структуры. Ядра с одинаковым числом протонов и нейтронов, но разной структурой Курчатов назвал изомерами, а явление ядерной изомерией.

Применительно к состоянию упорядоченности ПЭ такое явление можно назвать программной изомерией. Наличие изомерии обусловлено тем, что для каждого программного варианта,

подлежащего сбалансированию, может быть сформировано множество возможных вариантов – изомеров (рисунок 5) в соответствии с упорядоченностью в них элементов системы согласно ККС, упомянутым выше.

В данном случае под программной изомерией понимается свойство сформированного программного варианта зависеть не только от количества и качества программных элементов, но и от структуры, т. е. пространственно-временной конфигурации элементов в программном варианте, определяемой ККС между элементами.

Изомером называется программный вариант с одинаковым количественно-качественным составом элементов, но с разной пространственно-временной структурой.

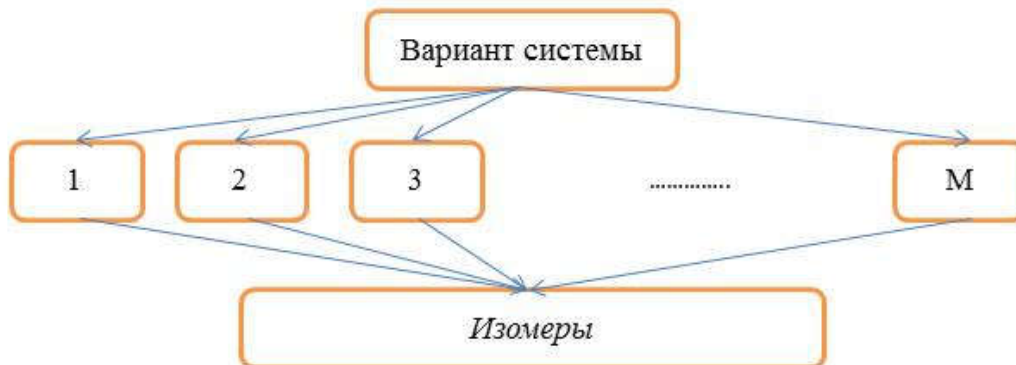


Рисунок 5 – Пример программной изомерии

Далее, осуществляется двойной анализ этих вариантов: вначале на предмет их физической реализуемости, а после этого из оставшихся вариантов выбираются рациональные варианты (вариант), обеспечивающие выполнение заданных критериев сбалансированности. В этом случае представляется возможным сформулировать оптимизационную задачу резонансной самоорганизации в рамках общей задачи сбалансирования при заданном уровне затрат на создание ВВСТ или ее эффективности (качества). Ниже приведены примеры задач резонансной самоорганизации и возможные методы их решения.

В общем виде задача резонансной самоорганизации можно сформулировать с использованием методологии военно-экономического анализа [19] следующим образом.

Прямая задача. Требуется найти такие резонансные варианты системы  $R(S_c^*)$ , при которых обеспечивается максимальное приращение эффективности (качества) системы  $\Delta W(S_c^*)$  при заданном объеме выделенных финансовых ресурсов  $C_{zad}$ . В этом случае целевая функция будет иметь следующий вид:

$$\Delta W(R(S_c^*)) \rightarrow \operatorname{argmax}_{S_c \in S_c} \Delta W[S = S(K_1, K_2, \dots, K_n)], \text{ при } C \leq C_{zad}, \quad (4)$$

где  $S_c$  – множество возможных вариантов системы с учетом ККС связей между элементами.

Обратная задача. Требуется найти такие резонансные варианты системы  $R(S_w^*)$ , при которых обеспечивается максимальное снижение затрат на создание системы  $\Delta C(S_w^*)$  при заданном (требуемом) уровне эффективности (качества) системы  $W_{zad}$ . В этом случае целевая функция будет иметь следующий вид:

$$\Delta C(R(S_w^*)) \rightarrow \operatorname{argmin}_{S_w \in S_w} \Delta C[S = S(K_1, K_2, \dots, K_n)], \text{ при } W \geq W_{zad}, \quad (5)$$

где  $S_w$  – множество возможных вариантов системы с учетом ККС связей между элементами.

Возможны и другие постановки задачи резонансной самоорганизации, например, связанные с оптимизацией временных сроков создания системы. Однако в любом случае, чтобы решить сформулированную задачу резонансной самоорганизации с использованием известных математических методов, например, линейного и нелинейного программирования, динамического программирования и других методов [20-23] вначале необходимо определиться с конкретными элементами модели сбалансирования: целью, условиями и параметрами сбалансирования.

На основе решения задач резонансной самоорганизации (4) и (5) представляется возможным получить функцию распределения резонансных вариантов. В первом приближении эта функция может иметь нормальный закон распределения  $f(R(S^*))$ . В качестве такой резонансной функции  $f(R(S^*))$  на рисунке 6 рассматривается распределение вариантов системы по степени упорядоченности в них элементов. Варианты являются резонансными, если в них элементы упорядочены таким образом, что выполняются условия, обусловленные внешними критериями и ограничениями, например: максимум эффективности при заданных затратах или минимум затрат при заданном уровне эффективности.

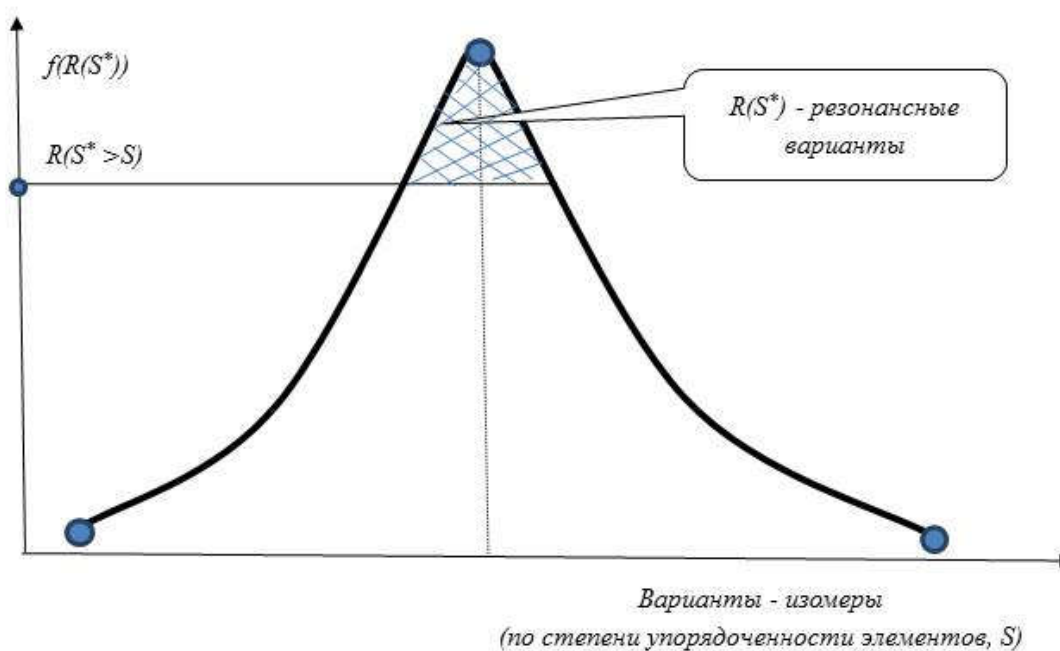


Рисунок 6 – R – функция распределения вариантов системы по степени упорядоченности элементов

Таким образом, появление резонансов является прямым следствием установления таких ККС между ПЭ, которые обеспечивают выполнение заданных внешних критериев и ограничений (например, максимум эффективности при заданных ограничениях на затраты ресурсов или минимум затрат при требуемом уровне эффективности системы и т. д.).

Прямым следствием установления резонансов в системе является возникновение синергетических эффектов в форме приращения эффективности системы или снижения затрат на ее со-

здание (при соответствующих ограничениях) за счет учета внутренних возможностей системы в виде ККС.

Общая логическая связь между формированием множества вариантов ККС, возникновением резонансов (резонансных вариантов, структур) и соответствующих им синергетических эффектов (в виде приращения эффективности  $\Delta W$  или снижения затрат  $\Delta C$ ) представлена на рисунке 7.

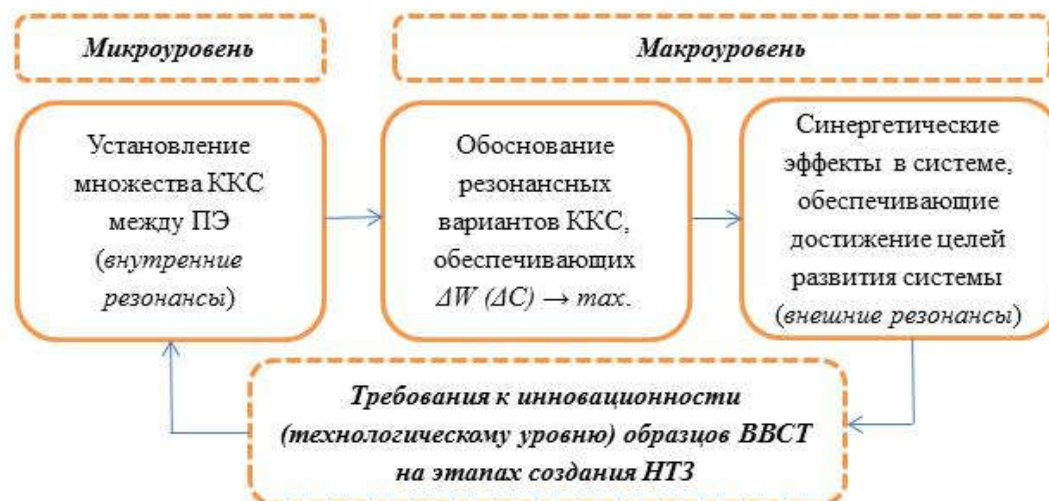


Рисунок 7 – Модель логической связи между внутренними процессами на микроуровне системы, возникновением резонансов и соответствующих им синергетических эффектов на макроуровне системы

Таким образом, резонансная структура – это вариант, в котором в результате установления ККС сформировалась такая пространственно-временная конфигурация элементов, которая обеспечивает достижение требуемых синергетических эффектов и целей развития системы, связанных с парированием внешних угроз и вызовов в рамках заданных финансово-экономических ограничений. Другими словами резонанс – это такая согласованность микро- и макропараметров системы, которая обеспечивает достижение целей развития системы.

На рисунке 7 показана обратная связь, означающая требования, которые должны быть предъявлены к элементам системы для достижения требуемых синергетических эффектов. Основным требованием с точки зрения формирования резонансных структур является технологический уровень (инновационность) образцов ВВСТ: чем больше инновационных элементов в системе, тем с большим числом других элементов могут быть установлены ККС.

Обобщая вышеизложенное, с учетом многолетнего практического опыта программно-целевого планирования развития отечественной системы вооружения, представляется возможным сформулировать общую и специальную теоремы резонансной самоорганизации.

*Общая теорема: все задачи создания и развития ВВСТ на всех их этапах и уровнях разукрупнения системы вооружения, связанные с целеполаганием, обоснованием исходного перечня программных элементов, формированием множества возможных вариантов системы вооружения и их сбалансированием, обоснованием выбора рациональных вариантов, являются задачами резонансной самоорганизации.*

*Специальная теорема* акцентирует главное внимание на проблеме сбалансирования с учетом внутренних факторов и процессов в системе вооружения. Она сформулирована следующим



образом: все задачи создания и развития ВВСТ, связанные с формированием множества возможных вариантов системы вооружения, их сбалансированием с учетом взаимосвязи внутренних процессов и внешних критериев и ограничений и обоснованием выбора резонансных вариантов, являются задачами резонансной самоорганизации.

Строгого доказательства общей и специальной теоремы до настоящего времени не представлено. Однако повседневная практика обоснования рациональных вариантов и путей развития отечественной системы вооружения в рамках методологии программно-целевого планирования показывает, что частные решения задачи резонансной самоорганизации для отдельных видов, типов, образцов ВВСТ и технологий уже имеются. Тем не менее, дальнейшие исследования вопросов, связанных с формированием множества возможных вариантов системы вооружения с учетом процессов, происходящих на микроуровне, представляют собой практически неисчерпаемый ресурс для обоснования выбора резонансных вариантов и путей развития отечественной системы вооружения. И здесь важнейшее значение имеет повышение инновационности создаваемых образцов ВВСТ, а их инновационность зарождается на этапах создания научно-технического задела (в том числе научного, научно-технологического и научно-производственного заделов).

Следует отметить, что инновационность – многоаспектное понятие: это новый или усовершенствованный (модернизированный) образец ВВСТ, либо новый способ взаимодействия однородных и/или разнородных образцов ВВСТ, обеспечивающие и в том и другом случае повышение эффективности системы вооружения. И не просто повышение, а резкий скачок в эффективности, получение нового качества в реализации требований к системе вооружения [1]. Именно поэтому инновационные образцы ВВСТ и технологии являются основной и главной предпосылкой возникновения резонансов и соответствующих синергетических эффектов в масштабе системы вооружения.

## **Заключение**

Без учета резонансов не представляется возможным обосновать сбалансированные варианты системы и выбрать из них рациональные варианты.

Резонансы не возникают мгновенно, а имеют причины и следствия.

Причинами (предпосылками) резонансов являются:

- обоснованный перечень ПЭ, включаемых в проект ГПВ, и содержащий как традиционные, так и новые инновационные ПЭ, при этом чем больше инновационных элементов, тем выше вероятность возникновения резонансов;
- множество ККС, которые представляется возможным установить между ПЭ в процессе сбалансирования вариантов системы.

Следствиями резонансов являются синергетические эффекты, возникающие в системе, а сами резонансы являются следствием процесса управляемой самоорганизации, т. е. установления ККС между элементами на микроуровне системы.

Резонансы могут иметь место на всех этапах (начиная с создания НТЗ перспективного образца ВВСТ) и уровнях обоснования системы (начиная с микроуровня).

Возможности резонансов являются на сегодня огромным и недостаточно использованным ресурсом сбалансирования сложных систем.

Изложенные в данной статье элементы теории и методологии резонансов могут быть использованы для формирования методического аппарата формирования резонансных структур и обоснования оценок их эффективности практически на всех этапах технологического и технического развития системы вооружения, а также на этапах ее применения. Задачи, связанные с формиро-

ванием целей создания и развития системы, множества возможных вариантов их достижения и обоснованием выбора из них рациональных вариантов, были и остаются ключевыми задачами обоснования различного рода систем: технологических, технических, экономических и др.

Дальнейшие исследования резонансов в развитии системы вооружения целесообразно проводить в следующих направлениях совершенствования элементов теории резонансов:

- уточнение механизма возникновения резонансов, в том числе предпосылок, источников, причин, движущих сил, объектов;
- обоснование принципов возникновения и существования резонансов;
- уточнение классификации резонансов;
- обоснование системы индикаторов и измерителей резонансов;
- обоснование многовариантности и многоуровневости резонансов, критериальной базы и ограничений резонансов;
- формирование синергетических эффектов резонансов.

Кроме того, в теоретическом плане представляется важным строгое доказательство общей и специальной теоремы резонансной самоорганизации и их применение в методологии и практике программно-целевого планирования развития отечественной системы вооружения.

#### Список использованных источников

1. Буренок В.М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники. – М.: Граница, 2010. – 216 с.
2. Буренок В.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Военно-экономические и инновационные аспекты интеграции нетрадиционных видов оружия в состав системы вооружения. – М.: Граница, 2014. – 240 с.
3. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: Издательство ООО «Купол», 2009. – 624 с.
4. Физическая энциклопедия: в 5 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1988.
5. Чанышев А.Н. Аристотель. – М.: Мысль, 1981.
6. Пригожин И.Р. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. – Изд. 3-е. – М.: КомКнига, 2006.
7. Хакен Г., Хакен-Крелль М. Тайны восприятия. – М.: Центр компьютерных исследований, 2002. – 272 с.
8. Пригожин И.Р., Стингерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. – М.: Прогресс, 1994.
9. Пригожин И.Р., Стингерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, 1986.
10. Руденко А.П. Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем. Т. 7. – М.: Изд-во МГУ, 1999.
11. Колесников А.А. Когнитивные возможности синергетики // Вестник Российской академии наук. – 2003. – Т. 73. – № 8. – С. 727-734.
12. Леонов А.В. Синергетический принцип военно-экономического обоснования нетрадиционного вооружения // Вооружение и экономика. – 2009. – № 7.
13. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Принципы самоорганизации в разработке и реализации государственных программ // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2016. – № 7. – С. 36-53.

14. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Роль самоорганизации в инновационном развитии сложных технических систем // Компетентность. – 2017. – № 3 (144). – С. 4-11.
15. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / Под ред. А.М. Московского. – М.: Вооружение, политика, конверсия, 2004. – 419 с.
16. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Метод обоснования рациональных вариантов совместного использования существующего и нового оружия // Системы ВТО. Создание, применение, перспективы. – 2017. – Вып. 1 (12). – С. 32-38.
17. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Этапы технико-экономического обоснования совместного использования новых и традиционных технологий при проектировании перспективных образцов ВТО // Системы ВТО. Создание, применение, перспективы. – 2016. – Вып. 1 (9). – С. 72-77.
18. Леонов А.В., Пронин А.Ю., Семериков Н.В. Технико-экономическая оценка эффективности совместного использования новых и традиционных технологий при проектировании наукоемкой продукции двойного назначения // Двойные технологии. – 2015. – № 2 (71). – С. 38-45.
19. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: Учебник. – М.: ВУ, 2015. – 340 с.
20. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
21. Математические методы и модели в экономике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие. – 2-е изд., перераб. – М.: Альфа-Пресс, 2016. – 304 с.
22. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М., 1977. – 832 с.
23. Ильичев А.В., Волков В.Д., Грущанский В.А. Эффективность проектируемых элементов сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982.
24. Мунтяну А.В., Печатнов Ю.А., Тагиров Р.Г. К вопросу о понятии «сбалансированная система вооружений» // Военная мысль. – 2007. – № 12. – С. 30-34.