

УДК 65.012.23 DOI: 10.14451/1.242.581

# Математическое моделирование процесса разработки стратегии управления жизненным циклом наукоемкой продукции

© 2025 **Рыбкина Ольга Владимировна**

Доцент кафедры экономической безопасности, кандидат экономических наук. Воронежский государственный технический университет.

E-mail: ryzhunya@inbox.ru

© 2025 **Амелин Станислав Витальевич**

Профессор кафедры экономической безопасности, доктор экономических наук. Воронежский государственный технический университет.

E-mail: assa-prima@mail.ru

**Ключевые слова:** система стратегического управления, жизненный цикл наукоемкой продукции, анализ взаимосвязанных областей решения.

**Введение.** Научная статья посвящена решению проблемы разработки единой стратегии управления жизненным циклом продукции, сочетающей в себе множество стратегических решений из функциональных сфер деятельности как отдельного предприятия, так и объединений. Планирование стратегических изменений в цикле должно иметь возможности формализации, одним из направлений которой выступает разработка математической модели при анализе множества альтернативных вариантов стратегических решений.

**Описание данных и методов исследования.** В статье рассмотрены теоретические основы системы стратегического управления жизненным циклом продукции с позиций структурно-функционального подхода, уделено особое внимание аспектам межфункционального характера связей предприятий при построении цепочек взаимодействия. Интегрированные научно-производственные структуры, складывающиеся на постоянной или временной основе, могут иметь сложности при разработке и реализации генеральной стратегии управления жизненным циклом изделий. В статье предложен метод, позволяющий устранить ошибки при сочетании альтернативных стратегических решений по функциональным областям деятельности компаний – метод анализа взаимосвязанных областей решений (AIDA). Исключая несовместимые проектные варианты решений при построении общей стратегии развития, метод не может быть апробирован на большом числе альтернатив без адекватной математической модели. Авторами описан как метод, так и разработано его математическое описание, что упрощает исследовательскую задачу по поиску совместимых вариантов в рамках стратегии управления. Все возможные варианты могут быть оценены по критериям, которые расширяют математическую модель в сторону многокритериального анализа найденных совместимых проектных решений.

**Результаты исследования.** Апробация математической модели разработки стратегии управления

жизненным циклом наукоемкой продукции из множества альтернативных вариантов проектных решений, совместимых и несовместимых между собой, позволила выявить 21 комбинацию решений, наиболее полно удовлетворяющую критериям исследования. На основе предложенной авторами математической модели может быть разработан программный алгоритм выбора оптимальной стратегии управления в сложноинтегрированной системе взаимодействий организаций и предприятий.

**Обсуждение и заключение.** Результаты исследования позволяют решить проблему несовместимых сочетаний стратегических решений при управлении жизненным циклом наукоемкой продукции, а также другими сложно организованными процессами и системами.

### Введение

Успешная и эффективная коммерциализация наукоемкой продукции, а также предшествующих ей технологий, зависит от многих условий внешней и внутренней среды, где одним из важнейших факторов является сформированная стратегия управления. В настоящее время все реже на практике реализуются закрытые механизмы создания и производства инноваций, поскольку сложность наукоемких изделий требует выполнения узлов и модулей, создаваемых предприятиями смежных отраслей и в процесс включаются значительное число разработчиков и производителей, которые формируют сети контрагентов. Формирование и развитие интегрированных форм организации инновационных и производственных структур происходит с учетом компетентностного подхода к подбору партнеров по кооперации, однако при взаимодействии участников возникает ряд проблем, которые нуждаются в научно-обоснованных решениях.

Управление интегрированными научно-производственными структурами представляет собой сложную систему взаимодействий сетевого типа с централизацией функций стратегического менеджмента в головной компании. Разработка и реализация генеральной стратегии заставляет концентрировать усилия на поиске множества альтернативных стратегических решений в таких областях, как НИОКР, маркетинга, кадровых, производственных, инновационно-инвестиционных,

логистических, обеспечения информационной и экономической безопасности. При отсутствии строгих регламентов стратегического управления, а также формализации процессов, руководство сталкивается с неупорядоченным поиском направлений развития, что может привести к ошибкам в расчетах и возникновению организационно-экономических рисков. Следовательно, задача по разработке методики выбора стратегии управления жизненным циклом технологических разработок и продуктовых инноваций является как актуальной, так и экономически необходимой для развития интегрированных научно-производственных структур.

### Описание данных и методов исследования

Современная теория и практика стратегического управления располагает значительным комплексом методов исследования и разработки стратегий, понятийным аппаратом, формированием и развитием которых занимались в разное время И. Ансофф [1], О. С. Виханский [3], Г. Б. Клейнер [8], Б. З. Мильнер [9], Г. Минцберг [14], М. Портер [13], А. А. Томпсон [18]. Особое внимание методам исследования систем управления в настоящее время уделено в работах российских ученых: Кононова Д. А. [9; 17], Кучкарова З. А. [10], Арутюнова А. Л. [2], Звягина Л. С. [6], Горшковой Л. А. [4] и др.

Теория и практика системного подхода позволяет рассмотреть сложноорганизованный процесс создания, производства и утилизации наукоемких технологий и продукции как сово-

купность подсистем и элементов, образующих единое целое, целью которого выступает достижение показателей высокой эффективности по критериям экономического, социального характера, обеспечения высокой конкурентоспособности продукции и технологий, показателей сокращения длительности инновационных, производственных процессов. Таким образом, целесообразно рассматривать структурно-функциональный срез системы управления жизненным циклом наукоемкой продукции (рис. 1).

Структурный подход позволяет выделить фиксированные взаимосвязи, которые существуют между компаниями, подразделениями и работниками организации. Применительно к множеству бизнес-процессов жизненного цикла продуктовых и технологических инноваций, в которых участвует множество организаций-смежников, структура системы управления представляет собой многомерную, ячеистую развитую сеть взаимодействий [15; 16].

Процесс разработки альтернативных вариантов стратегических решений выступает неотъемлемой частью формулирования выводов по итогам стратегического анализа, основными методами которого выступают: расчетные, эвристические и расчетно-эвристические [4, с. 21]. В практике стратегического анализа наравне с логическими и математическими методами широко используются качественные, поскольку сфера их применения относится к исследованию социально-экономических систем, которые в ряде случаев мало формализуемы и алогичны. Тем не менее разработка стратегии в части генерации множества альтернатив развития в сложно организованном процессе управления жизненным циклом наукоемкой продукции до настоящего момента нуждается в математическом аппарате, который бы способствовал устранению стихийных, случайных, потенциально несовместимых решений.

В контексте стратегического управления жизненным циклом наукоемкой продукции следует отметить, что множество стратегических решений по продукту формирует решения в обла-

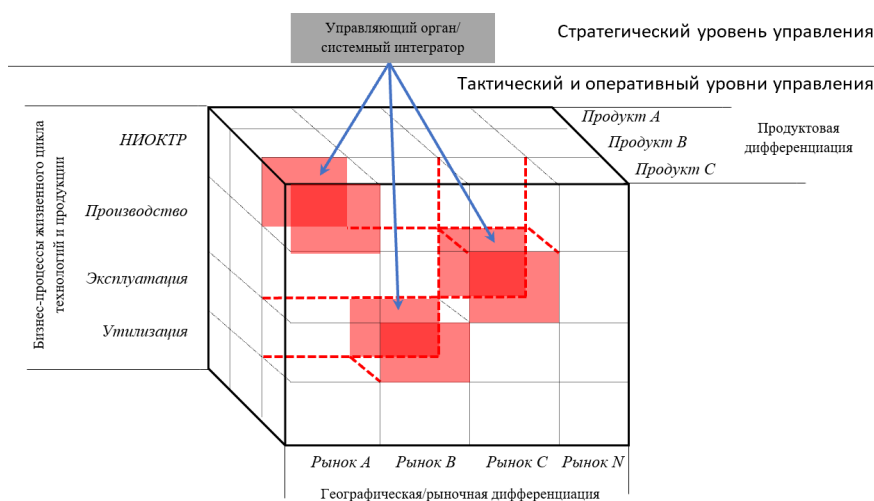
сти управления жизненным циклом организации (компании, предприятия), а жизненные циклы организаций влияют на формирование и стратегическое управление жизненным циклом интегрированной организационной структуры (или множества взаимодействующих на сетевой основе компаний-партнеров). В зависимости от сложности наукоемкой продукции и технологий, степени интеграции этапов и работ жизненного цикла, факторов внешней среды отмечается различная степень вовлечения участников в процессы принятия управленческих решений стратегического характера. Среди стратегических решений, формирующих и влияющих на жизненный цикл наукоемкой продукции, можно выделить решения следующих уровней разработки стратегии:

- корпоративный;
- уровень стратегических бизнес-единиц и/или департаментов, выделенных по различным признакам (продуктовому, рыночному, географическому);
- уровень разработки функциональных стратегий, которые в совокупности формируют стратегию коммерциализации изделия [7].

Кроме перечисленных стратегий к числу стратегических решений в области жизненного цикла наукоемкой продукции можно отнести:

- решения, связанные с организацией производства;
- антикризисные решения;
- решения в области масштабирования бизнеса;
- решения, связанные с управлением рисками при выполнении основных и вспомогательных видов деятельности бизнес-процессов компании-изготовителя, и ряд других.

Наличие большой вариативности стратегических решений свидетельствует о целесообразности применения научно-обоснованного подхода к возможностям их комбинации в ряде ключевых областей управления: производство, инновационная и инвестиционная деятельность, маркетинг, управление персоналом, логистика,



**Рис. 1.** Структурно-функциональный подход к рассмотрению системы стратегического управления жизненным циклом наукоемкой продукции.

информационная поддержка. Методом, позволяющим определить оптимальные сочетания стратегических решений и оценить их предполагаемую эффективность, выступает анализ взаимосвязанных вариантов решений (AIDA) [5]. Он основан на построении матрицы взаимодействий и сети взаимодействий, а также многокритериальном выборе комплексных стратегий. Построение матрицы взаимодействий призвано обеспечить систематический поиск взаимосвязей между элементами в рамках проблемы. Сеть взаимодействий должна при построении и использовании отразить схему взаимосвязей между элементами в рамках проектной проблемы, позволяя в определенной мере разделить разработку и реализацию комбинированной стратегии управления на отдельные части (стратегические решения) и открывая тем самым возможность полного охвата цикла от стратегического планирования до контроля.

Задачу, решаемую методом AIDA, можно сформулировать как поиск оптимального сочетания стратегических решений, принимаемых при реализации стратегического управления жизненным циклом наукоемкой продукции. Метод предполагает последовательное выполнение 4 этапов – рис. 2.

Математическая модель реализации метода анализа взаимосвязанных областей решения спо-

собствует его формализации и предполагает следующие обозначения:

- $X$  – множество альтернативных вариантов комплексных стратегических решений;
- $x_{v,s}$  – комплексное стратегическое решение с номером варианта  $v$  и сочетанием стратегий  $s$ , где  $x_{v,s} \in X$ .
- каждый  $v$ -й вариант комплексного стратегического решения  $x_{v,s}$  принадлежит множеству  $X$ ;
- $M_{sj}$  – матрица совместимости стратегий при выборе стратегических решений;
- $s_j$  –  $j$ -й вариант стратегии  $s$  (производственная, инновационная, логистическая, маркетинговая, кадровая, инвестиционная, информационная стратегии);
- $K$  – множество критериев выбора стратегических решений;
- $k_{w,s}$  – критерий выбора вида  $w$  (критерий времени вывода продукции на рынок, критерий обеспечения конкурентоспособности, критерий экономической эффективности, критерий социальной эффективности) с сочетанием стратегий  $s$ , где  $k_{w,s} \in K$ .
- каждый  $w$ -й вид критерия выбора  $k_{w,s}$  принадлежит множеству  $K$ ;
- $Y_{xk}$  – оценка вариантов стратегических решений по  $k$ -му критерию.

Ввиду большого количества альтернативных ва-



**Рис. 2.** Методология анализа взаимосвязанных областей решения (AIDA) и реализация метода на примере разработки стратегии управления жизненным циклом наукоемкой продукции.

риантов стратегических решений применим метод последовательного уменьшения неопределённости, состоящий в последовательном сужении множества альтернатив. Практически процесс сужения множества решений с использованием ЭВМ требует четкости формулировки ограничений для получения приемлемого и эффективного множества решений.

На первом этапе исходное множество альтернативных вариантов стратегических решений  $X$  сужается до множества допустимых решений  $X_z \subseteq X$ , где символ  $\subseteq$  означает, что множество допустимых решений  $X_z$  является либо подмножеством, то есть частью множества решений, либо совпадает с ним. На втором этапе множество допустимых решений сужается до множества вариантов эффективных решений  $X_0 \subseteq X_z$ . На третьем этапе осуществляется выбор единственного решения  $X^* \subseteq X_0$  из множества эффективных решений. В итоге последовательность выбора варианта стратегического решения символически записывается в виде цепочки включений:

$$X^* \subseteq X_0 \subseteq X_z \subseteq X.$$

Множество альтернативных вариантов стратегических решений  $X$  сужается до множества допустимых или приемлемых вариантов  $X_z$  на основе учёта множества ограничений, задающе-

ся матрицей совместимости стратегий  $M_{sj}$ .

Множество вариантов допустимых решений  $X_z$  сужается до множества эффективных решений  $X_0$  на основе учёта множества критериев выбора стратегий, которым придана количественная оценка на основе экспертного подхода. Для этого находим оценку альтернативных вариантов стратегических решений по каждому критерию

$$Y_k = \prod_S x_{v,s} \cdot k_{w,s}.$$

Для получения интегральной оценки по всей совокупности критериев используем выражение

$$Y_\Sigma = \sum_k \left( \prod_S x_{v,s} \cdot k_{w,s} \right).$$

Получение множества эффективных решений осуществляется путём отсекающего множества доминируемых решений. Множество эффективных решений представляет собой множество недоминируемых вариантов альтернатив, которое содержит решения, лучшие по одним критериям, но худшие по другим. В результате получаем множество парето-оптимальных решений, которые не могут быть улучшены ни по одному из критериев без ухудшения по какому-то одному из других критериев  $X_0 = N_{\text{dom}} X = \{x_{ov,s} \in X_z \mid \text{не существует такого } x_{v,s} \in X_z, \text{ что } x_{v,s} > x_{ov,s}\}$ .

Для итогового выбора стратегического решения  $X^*$  во множестве эффективных решений применим метод смещённого идеала с использованием метрики измерения расстояния от анализируемого варианта из множества эффективных стратегических решений до идеального варианта  $\hat{X}$ . Оценка расстояния в критериальном пространстве от альтернативных вариантов  $Y_k(x_{ov,s})$  стратегических решений до эталона  $\hat{Y}_x$  определяется выражением:

$$d_v = \sqrt[2]{\sum_s (Y_k(x_{v,s}^o) - \hat{Y}_x)^2}.$$

Если необходимо учитывать приоритетность критериев выбора стратегических решений  $\beta_s$  оценка производится согласно выражению:

$$d_v = \sqrt[2]{\sum_s \beta_s \cdot (Y_k(x_{v,s}^o) - \hat{Y}_x)^2}.$$

Наилучшему решению  $X^*$  соответствует наименьшее расстояние до идеального варианта ( $\min\{d_v\}$ ), обладающего наивысшими характеристиками из возможных по всем критериям:

- критерию времени, который подразумевает скорость создания, производства, вывода продукции или технологии на рынок;
- критерию обеспечения конкурентоспособности продукции и процессов жизненного цикла;
- критерию экономической эффективности;
- критерию социальной эффективности.

### Результаты исследования

Вариантами проектных решений при апробации математической модели выступили стратегические решения в функциональных областях деятельности:

- производственная стратегия с вариантами реализации ( $a_n$ );
- инновационная стратегия и ее разновидности ( $b_n$ );
- логистическая стратегия и ее варианты ( $c_n$ );
- маркетинговая стратегия по элементам ( $d_n$ );
- стратегия в области управления персоналом (кадровая) и варианты воплощения ( $e_n$ );

- инвестиционная (финансовая) стратегия и альтернативы ( $f_n$ );
- стратегия информационной поддержки жизненного цикла изделий полного или частичного вариантов воплощения ( $g_n$ ).

На основе сформированных проектных решений построена матрица их совместимости (рис. 3), где несовместимые обозначены «0» и объясняются следующим образом:

- вытягивающая стратегия, ориентированная на организацию потоков «точно вовремя», предполагает рациональное размещение орудий, предметов и средств труда, а также опору на человеческий потенциал как основу совершенствования и развития бизнес-процессов;
- точность организации процессов без потерь ресурсов (в том числе информационных) одно из основных условий успешной реализации, что исключено в лоскутном информационном потоке;
- реализация полной стратегии маркетинга требует от компании эффективной сквозной организации информационного потока для поддержки заказов и партнерских программ, следовательно, лоскутная информатизация в данном случае неэффективна и исключена из совместимых проектных стратегических решений.

Итогом многокритериального выбора является комбинация проектных решений, наиболее оптимальных и позволяющих совместить корпоративные, деловые и функциональные стратегические решения при управлении жизненным циклом наукоемкой продукции (рис. 4).

Таким образом, метод анализа взаимосвязанных вариантов решения (AIDA) выявил наиболее оптимальную комбинацию стратегических решений при разработке стратегии управления жизненным циклом наукоемкой продукции, соответствующую современным тенденциям российского менеджмента предприятий и интегрированных научно-производственных структур.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
МАТРИЦА СОВМЕСТИМОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	b1	b2	b3	b4	b5	c1	c2	d1	d2	e1	e2	e3	f1	f2	f3	g1	g2							
a1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a3			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
b1								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
b2									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
b3										1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
b4											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
b5												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
c1													1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
c2														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
d1															1	1	1	1	1	1	1	1	1	
d2																1	1	1	1	1	1	1	0	
e1																	1	1	1	1	1	1	1	
e2																		1	1	1	1	1	1	
e3																			1	1	1	1	1	
f1																					1	1	1	
f2																						1	1	
f3																							1	1
Критерий времени - скорость вывода продукции на рынок К1			1	2	0	0	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	0	0	2	1	2	1	1	

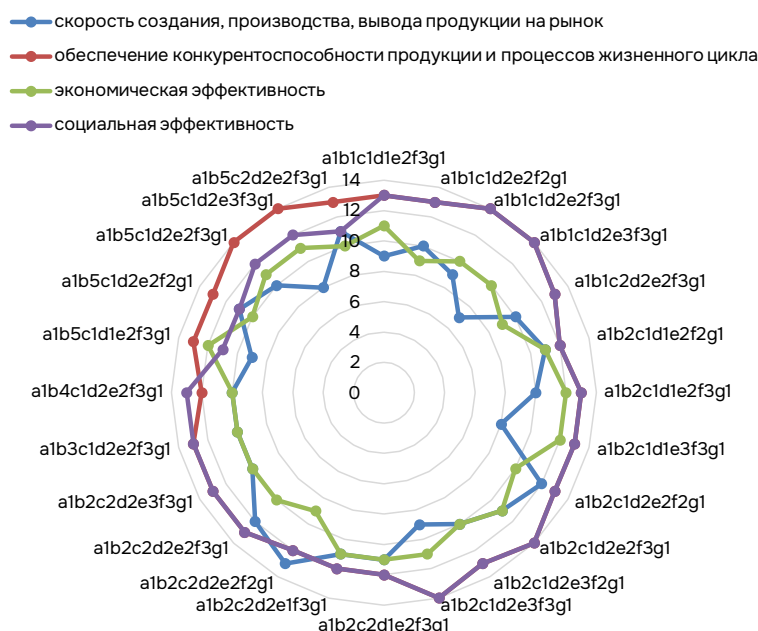
Рис. 3. Матрица совместимости проектных решений при разработке стратегии управления жизненным циклом.

**Обсуждение и заключение**

Стратегический подход к управлению жизненным циклом наукоемкой продукции связан с решением большого числа возникающих проблем взаимодействия. Одной из существенных проблем выступает необходимость генерирования и комбинирования решений в рамках сложно управляемых процессов в жизненном цикле наукоемкой продукции. Она тем значительнее, чем сложнее организована система управления жизненным циклом изделий в целом. Поскольку сложность системы определяется количеством уровней иерархии и взаимосвязей между подсистемами и элементами, то решение проблемы разработки и реализации стратегии управления жизненным циклом связано со взаимодействием большого числа участников по созданию, освоению, производству, обслуживанию в эксплуатации и утилизации изделий. Предложенная математическая модель анализа взаимосвязанных областей решения позволяет учесть многообразие стратегических решений, а также свя-

зей в системе стратегического управления жизненным циклом наукоемкой продукции и технологий, а также исключить несовместимые по тем или иным критериям решения, выбрать наиболее оптимальное. При увеличении числа вариантов решений или критериев выбора оптимальных из них модель позволяет расширить подход к исследованию сложных систем, формализовать выбор.

Математические методы играют важную роль в решении проблем функционирования сложно организованных систем, особенно социально-экономических. Сфера применения математических методов и моделей постоянно расширяется и наибольшую эффективность они имеют при дополнении их в сторону качественного анализа, а также во взаимодействии с другими логическими методами, что подчеркивает значительные возможности сфер приложения предложенной авторами математической модели к другим направлениям исследований.



**Рис. 4.** Результаты апробации математической модели многокритериального выбора стратегических решений в рамках жизненного цикла наукоемкой продукции.

### Библиографический список

1. Ансофф И. Стратегический менеджмент. Классическое издание / под ред. А. Н. Петрова. – СПб. : Питер, 2009. – 344 с.
2. Арутюнов А. Л. Принцип построения математических моделей для сложно-иерархических экономических процессов // Системная экономика, экономическая кибернетика, мягкие измерения в экономических системах, Москва, 01–02 июля 2015 года. – М. : Научная библиотека, 2015. – С. 190–198. – EDN VCWCNJ.
3. Виханский О. С. Стратегическое управление. – М. : Экономист, 2006. – 296 с.
4. Горшкова Л. А. Инструментарий анализа системы управления организацией. – Нижний Новгород : Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2009. – 287 с. – ISBN 978-5-91326-090-1. – EDN SINCNZ.
5. Джонс Д. К. Методы проектирования. – 2-е изд. – М. : Мир, 1986. – 265 с.
6. Звягин Л. С. Стратегия управления теоретико-игровыми моделями в условиях высокой неопределенности и степени риска // Мягкие измерения и вычисления. – 2023. – Т. 71, № 10/1. – С. 13–24. – DOI: [10.36871/2618-9976.2023.10.002](https://doi.org/10.36871/2618-9976.2023.10.002). – EDN KNETCX.
7. Ильина С. А. Формирование стратегий коммерциализации инновационного проекта в условиях сетевой организации бизнеса // Интернет-журнал Науковедение. – 2016. – Т. 8, 3(34). – С. 3–2. – EDN WIRIVN.
8. Клейнер Г. Б. Стратегия предприятия. – М. : Дело и сервис, 2008. – 234 с.
9. Кононов Д. А. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем : дис. ... д-ра технических наук : 05.13.10 / Кононов Дмитрий Алексеевич. – М., 2010. – 440 с.
10. Кучкаров З. А. Методы концептуального анализа и синтеза в теоретическом исследовании и проектировании социально-экономических систем : учебное пособие: [в 2 т.] – 2-е изд. – М. : Концепт, 2006. – 20 с. – ISBN 5-88981-066-9. – EDN QRMJYL.
11. Мильнер Б. Современное предприятие и его стратегия // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2009. – № 1. – С. 411–417. – EDN JWNBZT.
12. Никифоров А. Д., Бакиев А. В. Процессы жизненного цикла продукции в машиностроении : учебное пособие. – М. : Высшая Школа, 2012. – 688 с. – ISBN 978-5-4372-0056-8. – EDN RAZVJV.
13. Портер М. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005.
14. Раткин Л. С. Жизненный цикл процесса, интегрированного в корпоративный цикл производства наукоемкой продукции // Вестник Московского государственного открытого университета. Москва. Серия: Экономика и право. – 2011. – № 3. – С. 35–41. – EDN OWCNGH.
15. Рыбкина О. В. Обоснование моделей развития контрактного производства в системе управления жизненным циклом наукоемкой продукции // Экономинфо. – 2023. – Т. 18, № 1. – С. 5–11. – EDN KFIXQY.



16. Рыбкина О. В. Развитие организационных структур управления предприятий наукоемкого сектора промышленности // Организатор производства. – 2016. – 1 (68). – С. 39–46.
17. Социально-экономические системы: сценарное исследование уязвимости / В. В. Кульба [и др.] // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017 : Труды десятой международной конференции в двух томах, Москва, 02–04 октября 2017 года. Т. I. – М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской Академии Наук, 2017. – С. 35–46. – EDN YQQFXX.
18. Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент. Концепции и ситуации для анализа. – 12-е изд. – М. : Вильямс, 2003.