

Научная статья
УДК 629.7.05

Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники

Владимир Юрьевич Корчак, Сергей Гарриевич Брайткрайц, Павел Сергеевич Воронцов

Аннотация. В статье авторами приведены основы конструктивной эволюции технических систем и технологий. Показаны отличия в понимании этого процесса в стране и за рубежом. На примере астроинерциальных навигационных систем рассмотрен эволюционно-технологический подход в качестве основной тенденции для выявления перспективных направлений развития вооружения, военной и специальной техники и выбора на этой основе рациональных решений для разработки и создания новых образцов. Показано, что астроинерциальные навигационные системы эволюционировали за счет изменения своей структуры путем планомерного включения в свой состав новых подсистем. В настоящее время наблюдается наступление фазы устойчивого плато в их развитии.

Ключевые слова: эволюция технических систем и технологий; навигационные технологии; астроинерциальные навигационные системы; тенденции развития

Для цитирования: Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С. Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 5-12.

Original article

Patterns of the Evolutionary and Technological Approach to the Navigation Technologies Development of Weapon, Military and Special Equipment

Vladimir Iu. Korchak, Sergei G. Braitkraits, Pavel S. Vorontsov

Abstract. In the article the authors summarize the basics of constructive evolution of technical systems and technologies. The differences in the understanding of this process in the country and abroad are shown. On the example of astro-inertial navigation systems, the evolutionary-technological approach is considered as the main trend in identification of promising directions of weapons, military and special equipment development and selection on this basis of rational solutions for the new samples development and creation. It is shown that astro-inertial navigation systems evolved by changing their structure through the systematic inclusion of new subsystems in their composition. At present, the onset of a stable plateau phase in their development is observed.

Keywords: technical systems and technologies evolution; navigation technologies; astro-inertial navigation systems; development trends

For citation: Korchak V.Iu., Braitkraits S.G., Vorontsov P.S. Patterns of the Evolutionary and Technological Approach to the Navigation Technologies Development of Weapon, Military and Special Equipment. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 5-12. (In Russ.).

В России и других развитых странах мира в настоящее время много внимания уделяется изучению закономерностей возникновения и дальнейшего развития новых (в американской терминологии – прорывных (disruptive)) технологий. Активно исследуются результаты мониторинга в данной предметной области. Чтобы разобраться в причинах такого интереса достаточно обратиться к соответствующим ресурсам Internet, в которых содержится актуальная информация о достижениях науки и технологий. Очевидно, что в первую очередь активность многих зарубежных компаний связана с возможностью зарабатывания на консалтинговой деятельности, связанной с мониторингом и прогнозированием инновационной деятельности, оценкой ее рисков и, возможно, с выбором и оптимизацией перспективных разработок. В большинстве случаев такие исследования связаны с инновационной деятельностью в области информационных технологий. Примером компании, предоставляющей консультационные услуги организациям и предприятиям, внедряющим информационные технологии, а также инвесторам на рынке этих технологий и поставщикам, является американская компания Gartner¹.

¹ Gartner: главные стратегические технологические тенденции на 2024 год. URL: https://dzen.ru/a/ZTq0u_6sBBFo4PLB

Авторам настоящей статьи показалось крайне интересным применить ряд приемов, используемых зарубежными компаниями, для оценки и прогнозирования развития военных технологий, а конкретно – технологий навигационного обеспечения образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Такие решения могут оказаться достаточно эффективными, учитывая существенный опыт, накопленный отечественными специалистами еще в советский период. При этом имеется очевидное сходство отечественных и зарубежных исследований. Вместе с тем необходимо учесть, что в СССР работы по изучению закономерностей возникновения новых технических и технологических решений проводились намного раньше, чем появились их зарубежные аналоги. К тому же работы советских авторов носили практический характер. Достаточно упомянуть Межотраслевой фонд эвристических приемов², описание которого будет приведено в последующем изложении.

В настоящее время в качестве генеральной тенденции для выявления перспективных направлений развития новой техники и формирования на этой основе совокупности стратегий для разработки и создания новых образцов ВВСТ рассматривается эволюционно-технологический подход (ЭТП)³. Рассмотрим закономерности ЭТП применительно к развитию военных навигационных технологий, в частности, астроинерциальных.

Эволюционно-технологический подход применительно к развитию навигационных технологий ВВСТ

Под ЭТП понимается [1] методология создания и приобретения перспективных ВВСТ, основанная на постепенном многошаговом процессе повышения уровня знаний в определенных научно-технологических областях и предназначенная для обеспечения достоверности прогнозируемого облика ВС РФ, предсказуемости и стабильности программ создания вооружения, а также снижения риска при их реализации. В основе ЭТП лежит идея о том, что удачные примеры разработок образцов ВВСТ связаны с постепенным приращением их полезных свойств или качеств. При этом разработчик может использовать опыт и знания, полученные при разработке более ранних версий. Практический опыт показывает, что наиболее эффективны такие разработки в том случае, если каждый их шаг представляет собой определенный результат, основанный на реализации совокупности зрелых технологий, разработанных ранее.

Однако, по нашему мнению, возможности ЭТП гораздо шире. Это не просто идеологическая (философская) основа, объясняющая причины развития и создания новой техники, но и (при соответствующей степени формализации подхода) достаточно конкретный и детальный инструмент прогноза развития ВВСТ. Вероятно, говорить о прогнозе или тенденциях развития конкретных видов (типов) ВВСТ на основе эволюционно-технологического подхода будет чересчур утопичным утверждением, но вместе с тем рассматривая в качестве предмета обсуждения технологии ВВСТ (в данном случае навигационные технологии), можно надеяться на получение новых достаточно обоснованных результатов.

В работе [2] были рассмотрены примеры разработок новых систем на основе одного, достаточно простого прототипа. При этом здесь постоянно проводилась параллель с эволюцией в живой природе [3]. Все изменения (мутации) рассматривались как случайные, а закреплялись (получали право на существование) лишь те из них, которые были востребованы живыми организмами в дальнейшем. Вместе с тем рассматривались и такие изменения, которые необязательно были полезными непосредственно в текущий момент, но могли стать «ступенями» для других изменений (мутаций). Это наталкивает на мысль, что концепция ЭТП вполне может быть применима и к технологиям как к знанию, каким-либо образом задокументированному и объясняющему каким образом может быть произведена очередная операция.

² Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1988. 368 с.

³ См.: Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: Купол, 2009. 624 с.; см. также [1].

Анализ развития технологий показывает, что ЭТП сочетает эволюционный и революционный взгляды на их развитие. Так, в рамках теории гиперцикла Гартнера⁴ любая технология в своем развитии обязательно проходит 5 фаз (рисунок 1).

Первая фаза – фаза старта (включения) технологии. В навигационном обеспечении в качестве примера здесь можно привести активно развиваемые в настоящее время технологии создания локальных искусственных навигационных полей для наведения управляемых средств поражения или технологии глобальных радионавигационных систем в период 1980-х гг.

Вторая фаза – пик завышенных ожиданий. Для этой фазы характерно появление многочисленных публикаций, привлечение новых соисполнителей, возможно венчурное финансирование.

После достижения пика прорывных технических и технологических решений всегда наступает *третья фаза* – фаза утраты интереса к рассматриваемой технологии. Это может быть вызвано как замедлением темпов роста результатов с использованием данной технологии, так и достижением технологического предела для данного временного периода. С другой стороны, падение интереса или разочарование в дальнейшем развитии технологии может быть следствием появлением новой технологии (возможно, даже в другой, параллельной области).

Фазой разочарований можно характеризовать разработки в области систем навигации по гравитационному полю Земли. Однако появление новых измерителей параметров гравитационного поля, развитие информационной базы с детальными моделями геофизических полей указывают на то, что фаза разочарований здесь завершается.

Еще одним ярким примером такой технологии является глобальная спутниковая радионавигация. После резкого роста количества исследований и разработок в этой области в 1980-е гг. стал наблюдаться определенный спад интереса к спутниковым радионавигационным системам (СРНС) со стороны потребителей, вызванный в первую очередь слабой помехозащищенностью СРНС. Однако жизнь не стоит на месте, и разработчиками приемной аппаратуры СРНС были получены новые эффективные конструктивные и программно-алгоритмические решения в области защиты от организованных помех, которые позволяют перейти к следующей фазе развития.

Четвертая фаза – новый старт развития технологии. Конечно, он не будет таким же быстрым, как на стадии запуска технологии, однако результаты этой фазы позволяют выйти на устойчивое плато развития. В настоящее время эта фаза характерна для инерциальных навигационных систем (ИНС) различных типов, некоторых радионавигационных систем, таких как доплеровские измерители угла скорости и сноса, радиолокационных средств разведки, обзора, прицеливания и наведения.

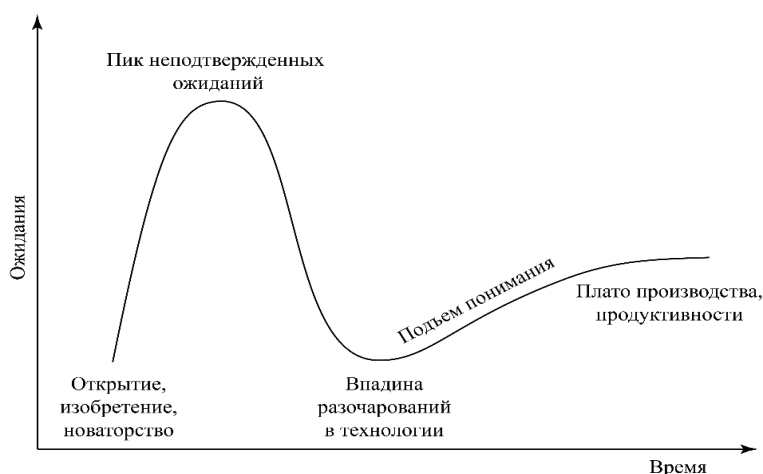


Рисунок 1 – Цикл Гартнера

⁴ Gartner hype cycle. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gartner_hype_cycle

Пятая фаза – достижение устойчивого плато существования технологии. Фактически это вторая «жизнь» технологии. В части навигационных измерителей к этой фазе на современном этапе развития можно отнести ряд гироскопических и акселерометрических чувствительных элементов и датчиков, таких как твердотельные волновые гироскопы для бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), динамически настраиваемые гироскопы для платформенных ИНС, акселерометры маятникового типа. В этой же фазе развития сегодня находятся аэрометрические системы – системы воздушных сигналов, комбинированные приемники воздушного давления и углов атаки.

Естественно, приведенные примеры носят иллюстративный характер. Но вместе с тем они позволяют выделять тенденции и прогнозировать направления развития навигационных систем, средств и комплексов.

Конструктивная эволюция технических систем и технологий

Необходимо отметить, что вопросам применения ЭТП для исследования закономерностей развития технических систем (ТС) и технологий в СССР, а позднее в Российской Федерации уделялось самое серьезное внимание. Можно даже утверждать, что в области исследований вопросов их эволюции был достигнут определенный «перевес» по сравнению с уровнем аналогичных исследований за рубежом. Об этом, в частности, свидетельствует информация, приведенная в работах [4-6].

При сходстве в целом положений, приведенных в этих работах, закон эволюции техники формулируется следующим образом⁵: в технических системах с одинаковой функциональной направленностью переход от поколения к поколению вызван устранением недостатков, то есть речь идет о направленных изменениях, связанных с улучшением критериев развития, что происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности этих ТС. Здесь следует отметить отличие данного подхода от используемых в США. Согласно последним, изменения происходят случайным образом, и закрепляются те признаки, которые востребованы в обществе.

В работе [5] указаны возможные этапы направленных изменений:

- 1) при неизменном физическом принципе действия ТС их параметры совершенствуются до достижения определенного технологического предела (на данный момент времени);
- 2) после исчерпания возможностей этапа (1) происходит переход к более рациональному техническому решению, после чего развитие опять происходит по пути этапа (1). Этапы (1) и (2) повторяются до достижения глобального экстремума для данного принципа действия;
- 3) после исчерпания научных и технологических возможностей этапов (1) и (2) происходит переход к более рациональному физическому принципу действия. Затем развитие идет снова по этапам (1) и (2) до приближения к глобальному экстремуму по принципу действия.

На рисунке 2 представлена эмпирическая кривая для этапов (1) и (2), которая в работе [5] определена как S-функция.

Представляется весьма важным сравнить подходы отечественных и зарубежных специалистов к анализу ретроспективы создания современных технических систем, путей их дальнейшего развития, подходов к возможности использования обнаруженных аналогий с эволюционными процессами в биологических системах при определении приоритетных направлений развития технологий. После сравнения цикла Гартнера (рисунок 1) и S-функции (рисунок 2), становится очевидным, что понятие цикла Гартнера является подробной детализацией первых двух этапов эволюции техники, показанных на рисунке 2. Вместе с тем такая детализация позволяет перейти к рассмотрению эволюции технологий, поскольку в дальнейшем речь пойдет о развитии технологий ВВСТ, в частности навигационных.

⁵ Половинкин А.И. Основы инженерного творчества... Указ. соч.

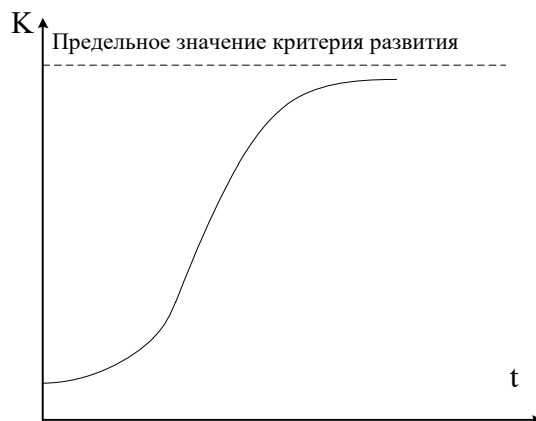


Рисунок 2 – Закономерности развития при неизменном принципе действия: S-функция

При этом следует акцентировать внимание на том, что цель анализа эволюции технических средств (ТС) и технологий одной функциональной направленности состоит: в выявлении критериев и показателей качества навигационных систем; в определении закономерностей их развития; в выделении основных приемов получения новых технических и технологических решений в данной области.

Эволюция здесь представляется последовательностью переходов:

$$(S_0) \rightarrow (S_1) \rightarrow (S_2) \dots (S_i) \dots \rightarrow (S_k), \quad (1)$$

где (S_i) – образец технической (в данном случае – навигационной) системы i -го поколения, являющейся прототипом последующих образцов; (S_k) – самая современная на сегодняшний день навигационная система.

Важным здесь является вывод отечественных исследователей (авторов указанных выше работ) о необходимости формирования ретроспективной последовательности, где возможны принципиально новые решения, основанные на новой технологической базе. Принимая во внимание природу эволюции в биологических системах, можно использовать ряд следующих приемов:

1. Взяв (S_i) , лежащие на прямой линейной эволюционной цепочке, построить ретроспективную цепочку следующего вида:

$$(S_0) \leftarrow (S_1) \leftarrow (S_2) \dots (S_i) \dots \leftarrow (S_k). \quad (2)$$

2. Выделить (S_i) , серийно производимые.

3. Выделить из них только те (S_i) , которые имеют существенные отличия от прототипов.

Следующим важным выводом является предположение о существовании параллельных цепочек и, следовательно, вероятном ветвлении эволюционных последовательностей:

$$\begin{array}{c} (S_i^D) \leftarrow \text{---} \\ (S_{i-1}) \leftarrow (S_i^F) \leftarrow (S_{i+1}), \end{array} \quad (3)$$

где (S_i^F) – главный прототип, (S_i^D) – дополнительный прототип.

Это дает возможность определить самый дальний прототип в эволюционной цепочке и, кроме того, определить последовательность решений, которая привела к современному облику навигационной системы.

Вероятно, самым существенным отличием понимания места и роли эволюционно-технологического подхода в формировании перспектив развития технологий ВВСТ в

отечественной практике от сложившихся представлений об ЭТП за рубежом является представление о нем, как об управляемом процессе. Для реализации соответствующего управления целесообразно использовать отработанный набор приемов. В работе [5] приводится понятие обобщенного эвристического приема. Говорится о целом ряде модификаций метода эвристических приемов, который был разработан и нашел широкое применение в СССР. Данный метод основывался на уже упоминавшемся выше Межотраслевом фонде эвристических приемов. Этот фонд содержит 180 отдельных эвристических приемов, которые разделены на 12 групп: преобразование формы; преобразование структуры; преобразование в пространстве; преобразование во времени; преобразование движения и силы; преобразование материала и вещества; приемы дифференциации; количественные изменения; использование защитных мер; использование резервов; преобразования по аналогии; повышение технологичности.

Все эвристические методы (и обобщенный эвристический подход в том числе) опираются на целый ряд информационных фондов или библиотек:

- F_1 – фонд физических эффектов;
- F_2 – фонд технических решений рассматриваемого класса ТС – навигационных систем (НС);
- F_3 – фонд требований, предъявляемых к данному классу технических решений;
- F_4 – фонд материалов и конструктивных элементов для создания новых НС;
- F_5 – фонд технологических процессов, которые можно использовать при изготовлении образцов рассматриваемого класса навигационных систем;
- F_6 – фонд технических решений ведущих образцов (ведущего класса) НС;
- F_7 – методы оценки и выбора вариантов технических решений.

Возвращаясь к анализу тенденций развития навигационных технологий, проявляющихся в ходе вооруженных конфликтов новейшего времени, можно выделить из них три основные в навигационном обеспечении войск.

Первая тенденция – это интеграция навигационных средств в эргатических навигационных системах и комплексах [6], позволяющая обеспечить рациональное сочетание естественного и искусственного интеллекта (ИИ) с безусловным приоритетом в принятии решения человеком-оператором.

Вторая тенденция связана с необходимостью навигационного обеспечения решения принципиально новых задач, обусловленных массовым применением и стремительным развитием новых средств воздушного нападения, включая широкое распространение высокоточного оружия всех видов базирования, роевые технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и морских робототехнических комплексов (МРТК).

Третьей тенденцией стало активное развитие традиционных вооружений – бронетанковой техники, ствольной артиллерии, реактивных систем залпового огня, средств противозушной и противоракетной обороны на основе новых навигационных решений.

Это указывает на возможность (и даже необходимость) дополнения фонда обобщенных эвристических приемов новыми, например, гибридизацией – объединением подсистем самых разных классов, переходом внутри рассматриваемого класса к другим физическим эффектам. При этом следует учитывать роль ИИ, которая может стать определяющей в роевых технологиях БПЛА и МРТК. Рассмотрим, как реализованы различные эвристические методы в развитии астроинерциальных навигационных систем.

Пример эволюции астроинерциальных технологий с точки зрения эволюционно-технологического подхода

Астронавигационные системы (АНС) и астроинерциальные навигационные системы (АИНС) в своем развитии прошли 4 этапа.

Первый этап связан с созданием морского секстана, который широко используется и в настоящее время.

Второй этап связан с разработкой и совершенствованием перископных секстанов или перископных АНС, позволяющих определять высоты и азимуты светил в темное время суток из подводных лодок, находящихся на перископной глубине.

Третий этап заключается в разработке и совершенствовании астрокорректоров, позволяющих измерять высоты и азимуты видимых светил не только в темное, но и в светлое время суток.

Четвертый этап – это разработка радиосекстанов и радиоастронавигационных систем, обеспечивающих определение направлений на космические источники радиоизлучения в любых метеоусловиях независимо от времени суток.

Безусловно такая последовательность включает гораздо больше этапов, принимая во внимание параллельную эволюцию инерциальных навигационных систем, включаемых в состав АИНС, начиная со второго этапа развития астросистем. ИНС проходили в своем развитии оснащенность различными чувствительными элементами, а также построение в различных конструктивных версиях – платформенного, бесплатформенного и гибридного типов. Безусловно, необходимо учитывать и включение в АИНС такой важнейшей навигационной системы, как СРНС. В последнее время в состав АИНС включают корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС), использующие геофизические поля (ГФП). В первую очередь это гравитационное поле Земли, поскольку оно наиболее органично вписывается в структуру АИНС и как корректор программно-алгоритмического обеспечения ИНС, и как самостоятельная навигационная система корреляционно-экстремального типа, надежно дублирующая и дополняющая астровизирующее устройство (АВУ) в условиях отсутствия видимости светил. Такие работы пока носят исследовательский характер, но, рассматривая эволюцию АИНС, следует учитывать все этапы. Тогда можно построить технологическую цепочку этапов развития АНС:

$$\begin{aligned} & \text{Астросекстан } (S_0) \rightarrow \text{Секстан+ИНС } (S_1) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Астрокорректор+ИНС } (S_2) \rightarrow \text{(АВУ)+ИНС+СРНС } (S_3) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{АВУ+БИНС+СРНС } (S_4) \rightarrow \text{РадиоАВУ+БИНС+СРНС } (S_5) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{АВУ (радиоастрокорректор)+Блок акселерометров+СРНС } (S_6) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Интегрированное АВУ+БИНС+СРНС+КЭНС } (S_7). \end{aligned}$$

Можно предположить, что начиная с подэтапа (S_3), в системе будут фигурировать и элементы искусственного интеллекта. Попытаемся проанализировать представленную цепочку.

Отчетливо видно, что астроинерциальные навигационные системы с самого начала эволюционировали за счет изменения своей структуры путем постепенного включения в их состав новых подсистем. В начале это были ИНС различных типов и классов точности, затем были добавлены приемные устройства глобальных спутниковых радионавигационных систем и, наконец, в состав АИНС были включены КЭНС, функционирующие на основе ГФП. Одновременно осуществлялось развитие и всех подсистем, входящих в состав АИНС. Это касалось и используемых материалов, и изменения конструкции, и, безусловно, применения новой, более совершенной электронной компонентной базы. Возвращаясь к рассмотренным ранее закономерностям ЭТП, проиллюстрированных циклом Гартнера и S-кривой, можно говорить о наступлении в развитии АИНС фазы достижения устойчивого плато существования технологии. Возможно, следующий виток эволюции – следующий цикл Гартнера – будет связан с применением технологии ИИ. Об этом свидетельствуют исследования в области автоматической реконфигурации навигационных комплексов и систем, а также исследования по упрощению АИНС и соответствующему повышению технологичности их производства. Так, вполне вероятным является отказ от функционально законченной инерциальной системы и замена ее акселерометрическим блоком линейных ускорений, который в свою очередь может быть объединен с блоком гравиметров из состава гравиметрической КЭНС. Но это уже является темой отдельного исследования.

Таким образом, рассмотренные в статье на примере АИНС современные подходы к анализу и прогнозу развития перспективных технологий на основе ЭТП являются логическим продолжением проводившихся в советский период работ, связанных с исследованием закономерностей развития технических систем и технологий и разработкой соответствующих методических подходов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на формализацию закономерностей эволюции навигационных технологий, для чего в первую очередь необходимо сформировать критерии выбора и сравнения наиболее актуальных технических и технологических решений в данной области.

Список источников

1. Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Старожук Е.А., Буренок В.М., Юрин А.Д. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 176 с.
2. Arthur W.B., Polak W. The evolution of technology within a simple computer model // Complexity. 2006. Vol.11. No.5. P. 23-31. DOI: 10.1002/cplx.20130.
3. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо, 2008. 864 с.
4. Мелещенко Ю.С. Техника и закономерности ее развития. Л.: Лениздат, 1970. 246 с.
5. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития. Л.: Машиностроение, 1985. 216 с.
6. Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов: монография / Под ред. М.М. Сильвестрова. М.: Воениздат, 2007. 510 с.

Информация об авторах

В.Ю. Корчак – доктор экономических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 6862-4288.
С.Г. Брайткрайц – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 4779-5045.
П.С. Воронцов – SPIN код автора 1918-9921.