

УДК: 004.942

ОПЫТ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК (СИЛ): ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И РЕШЕНИЯ

А.В. Бычков, В.Ю. Батов, М.П. Филяев (Санкт-Петербург)

Актуальность широкого внедрения методов математического моделирования для совершенствования форм применения и способов действий группировок войск в операциях была обоснована уже более 10 лет назад. К тому времени наиболее эффективным инструментом для исследования и оптимизации действий войск и процессов их всестороннего обеспечения стало компьютерное моделирование в целом, и, в частности, его наиболее перспективное направление – имитационное моделирование [1]. В условиях стремительного развития современных компьютерных технологий роль имитационного моделирования в военном деле продолжает неуклонно возрастать.

Началом современного этапа развития имитационного моделирования процессов материально-технического обеспечения (МТО) войск можно по праву считать 2017 год. В этот период уже прорабатывался вопрос о создании Системы моделирования военных (боевых) действий ВС РФ [2], в состав которой входили бы органы военного управления, научные и образовательные организации Министерства обороны, Центры (подразделения) моделирования, а также предприятия оборонно-промышленного комплекса, являющиеся разработчиками программных средств.

Вместе с тем к этому времени уже сложилась устойчивая тенденция разработки имитационно-моделирующих комплексов видов и родов войск. Завершалось создание моделирующего комплекса Воздушно-космической обороны, были развернуты работы по созданию многофункционального имитационно-моделирующего комплекса Военно-морского флота, начались исследования в рамках разработки имитационно-моделирующего комплекса (ИМК) Сухопутных войск [3, 4], планировались исследования по созданию единой расчетно-моделирующей платформы ВС РФ.

В этих условиях в научно-исследовательском институте (НИИ) Военной академии МТО и были инициированы научные исследования по разработке имитационных моделей процессов МТО войск (сил) с перспективой их применения в деятельности органов военного управления (ОВУ) МТО, в научных исследованиях и при подготовке военных специалистов. При этом следует отметить ключевые особенности процессов МТО как объектов имитационного моделирования:

– во-первых, логистический характер большинства процессов МТО предполагает применение при их имитационном моделировании дискретно-событийного (процессного) подхода, но не исключает при этом и комплексное применение с другими методами, включая аналитические модели;

– во-вторых, процессы МТО в современных условиях характеризуются высокой динамикой изменения структуры и порядка реализации, поэтому разработка имитационных моделей должна обеспечивать обязательную возможность их модернизации;

– в-третьих, известные постановки задач и соответствующие им аналитические модели отдельных процессов МТО обеспечивают лишь решение частных ИРЗ в рамках этих процессов, но не позволяют разработать по ним логические или логико-математические модели, являющиеся основой имитационного моделирования.

Следует подчеркнуть, что на современном этапе развития компьютерных технологий под имитационной моделью процесса МТО, как представлено на рисунке 1,

понимается логико-математическая модель исследуемого процесса, представляющая собой алгоритм взаимодействия объектов системы, программно-реализованный на средствах вычислительной техники.

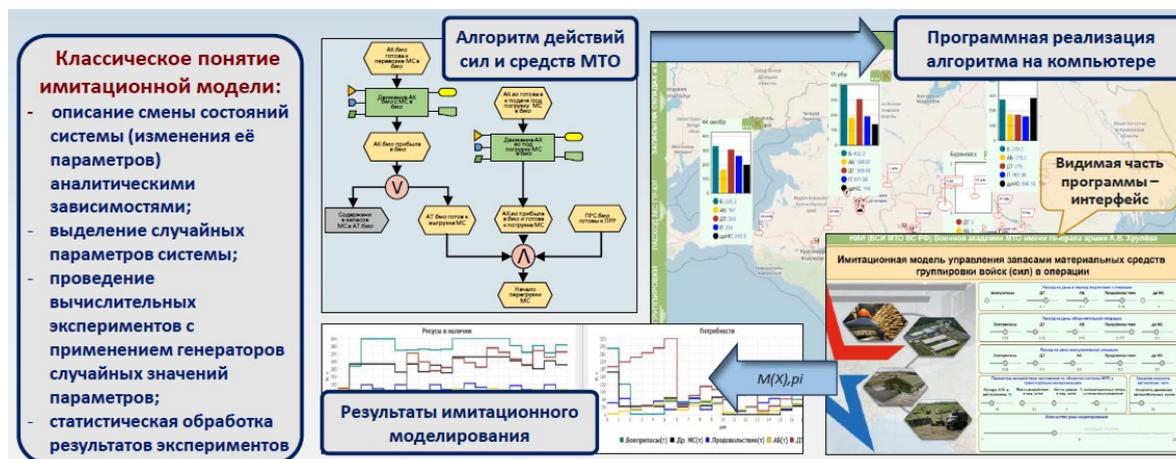


Рис. 1 – Понятие имитационной модели процесса МТО войск (сил) на современном этапе развития компьютерных технологий

При этом обязательными атрибутами имитационной модели рассматриваются возможность автоматизированного варьирования значений исходных данных, визуализация моделируемого процесса, в том числе на электронной карте, и автоматизированный сбор, обработка и представление результатов моделирования.

Безусловно, имитационные модели процессов МТО разрабатывались и применялись в научных исследованиях и ранее, но трактовка понятия имитационной модели выглядит несколько иначе (представлено на рисунке 1), что вполне объяснимо уровнем развития применяемой для моделирования компьютерной техники.

В сложившихся к 2017 году условиях проведения научных исследований вопросов разработки и применения имитационных моделей процессов МТО коллективом сотрудников управления автоматизации систем МТО НИИ академии были определены основные направления этих исследований, конкретизированы задачи и предполагаемые результаты их решения, а также определена главная цель – создание научного задела для разработки специализированной среды имитационного моделирования процессов МТО.

Как при формировании методологии имитационного моделирования процессов МТО, так и при исследовании методов разработки и применения имитационных моделей (рисунок 2), возникло достаточно много проблемных вопросов, которые требовали своего разрешения.

Главная причина здесь – это отсутствие инструментальных программных средств разработки имитационных моделей, а также отсутствие в штате того времени не только программистов, но и даже сотрудников, имеющих навыки программирования. Определенная стабилизация в этом вопросе произошла после создания и введения в штат управления в 2019 году научно-исследовательской лаборатории моделирования процессов МТО. Тем не менее, ключевым проблемным вопросом, непосредственно связанным с разработкой имитационных моделей процессов МТО, остается отсутствие специализированных инструментальных средств.

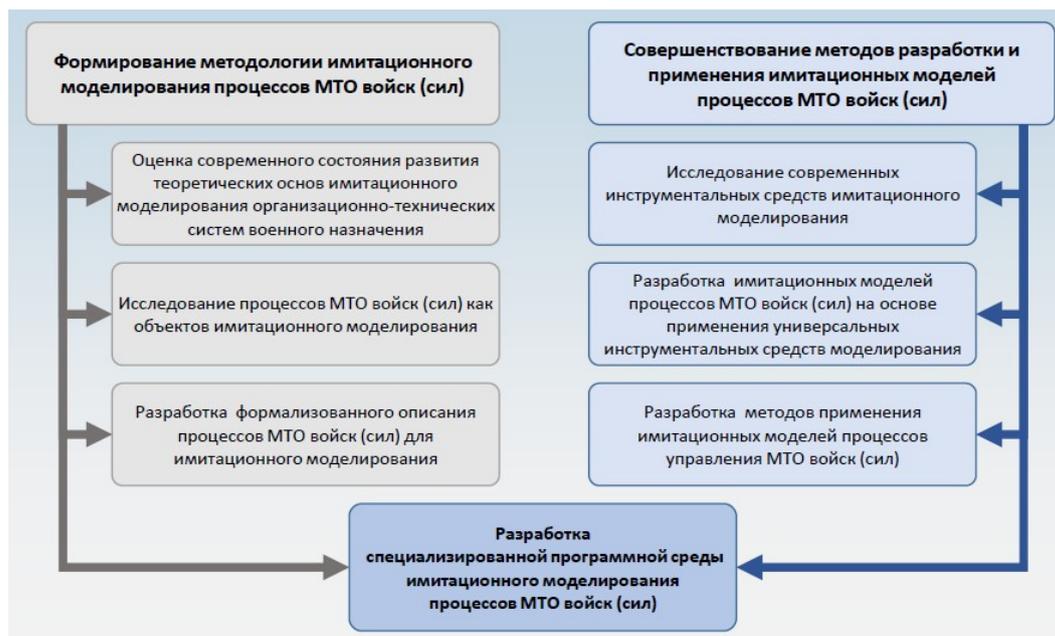


Рис. 2 – Структура научных исследований по разработке современных методов имитационного моделирования процессов МТО войск (сил)

В настоящее время вектор развития способов разработки имитационных моделей все больше смещается в сторону их создания на основе применения программных сред моделирования. Технология разработки, например, известных и создаваемых в настоящее время программно-аппаратных имитационно-моделирующих комплексов военного назначения основана именно на этом подходе. Создание ИМК позволяет проводить комплексное имитационное моделирование боевых действий и процессов их всестороннего обеспечения. Вместе с тем, разработка ИМК характеризуется большими финансовыми затратами и выполняется только специализированными организациями промышленности в рамках проведения ОКР на основе применения собственных платформ имитационного моделирования, фактически не доступных для использования специалистами по имитационному моделированию других организаций.

В условиях этих ограничений в настоящее время наряду с разработкой масштабных ИМК военного назначения продолжается разработка исследовательских и учебных имитационных моделей на основе универсальных программных сред имитационного моделирования, в том числе и процессов МТО для решения отдельных задач, связанных как с поиском рациональных вариантов применения сил и средств МТО в операциях, так и с обоснованием их состава и структуры, обеспечивающих достижение требуемых целевых показателей эффективности.

Опыт применения универсальных сред имитационного моделирования показывает, что заложенные в них возможности, с точки зрения имитационного моделирования процессов МТО, являются, с одной стороны, избыточными, а с другой стороны, не в полной мере позволяют описывать эти процессы на основе имеющихся логических процедур и библиотек без дополнительного программирования для описания поведения объектов. Поэтому в схеме разработки имитационной модели на основе применения универсальной среды обязательно участие квалифицированного программиста. Следует особо отметить, что более 50% трудозатрат при этом связаны с визуализацией моделируемого процесса на карте в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отображению оперативной обстановки.

Реально доступными к использованию в настоящее время являются две отечественные программные среды и среда AnyLogic, как показано на рисунке 3. С учетом того, что в определенный период среда AnyLogic была разрешена к использованию на автоматизированных рабочих местах должностных лиц Министерства обороны, она и использовалась в качестве инструмента для разработки процессов МТО.

К сожалению, в условиях отсутствия альтернативы применение универсальных инструментальных средств разработки имитационных моделей по-прежнему является единственным решением рассмотренного проблемного вопроса. Именно это обстоятельство в первую очередь повлияло на ход и темпы развития современных методов имитационного моделирования процессов МТО [5].

Одним из важных актуальных вопросов, связанных с созданием имитационных моделей процессов МТО, являлось также совершенствование постановки задачи на её разработку, а именно с логико-математическим описанием моделируемого процесса. Для этого был предложен интегрированный подход [6], позволяющий сформировать у непосредственного разработчика имитационной модели более четкое представление о составе и структуре моделируемого процесса, логике взаимодействия объектов и порядке изменения их состояний в моделируемый период.



Рис. 3 – Основные способы разработки имитационных моделей процессов МТО войск (сил)

Опыт показывает, что целесообразно использовать при этом, в том числе, схематическое описание процесса по аналогии с нотациями, применяемыми при автоматизации процессов. С этой целью была разработана и предложена к применению специализированная нотация логико-математического описания процесса МТО, используемая при построении его имитационной модели [7]. Рассматриваемая нотация позволяет унифицировать форму постановки задачи при имитационном моделировании процессов МТО. Вместе с тем, ввиду многообразия и специфики моделируемых процессов, нотация может быть усовершенствована и дополнена новыми элементами. Использование рассмотренного подхода фактически является одним из определяющих условий, обеспечивающих адекватность разрабатываемой модели и, в последующем, достоверность результатов моделирования.

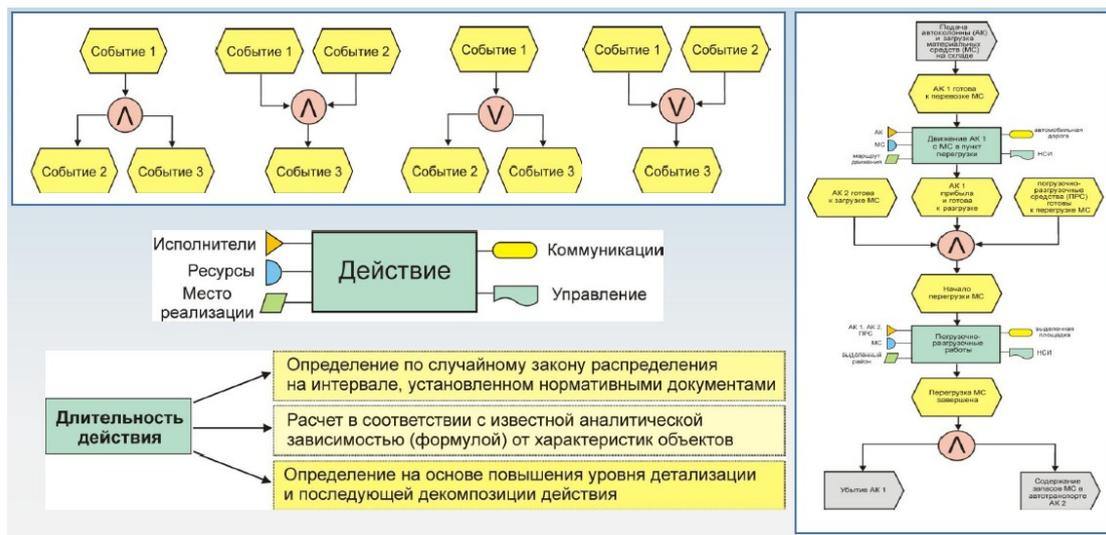


Рис. 4 – Специализированная нотация логико-математического описания процессов МТО войск (сил)

Важнейшей характеристикой имитационной модели процесса МТО является уровень (или степень) детализации, то есть глубина описания моделируемого процесса. Выбор целесообразного уровня детализации в разрабатываемой модели имеет свою специфику. На ранних этапах разработки, например, когда еще окончательно не определены цели и требования к результатам моделирования, описание процессов в модели выполняется на упрощенном логико-событийном уровне. По мере продвижения разработки и уточнения требований к достоверности и точности результатов описание процессов в модели детализируется и усложняется [8].

Выбор рационального уровня детализации моделируемого процесса особенно актуален, если моделирование рассматривается как пошаговый процесс от минимального до максимально возможного уровня детализации. При этом выбор уровня детализации влияет и на применение собственно метода моделирования процесса – аналитический или имитационный. В результате исследования данного вопроса предложено применение при моделировании процессов МТО одновременно различных уровней детализации составляющих их подпроцессов (этапов), что позволяет сократить время проведения имитационных экспериментов.

Рациональная декомпозиция (разбиение на части, этапы реализации во времени) процесса МТО является определяющим условием построения его модели на основе многоуровневой детализации. При этом в зависимости от формы представления исходных данных и условий постановки задачи одни и те же подпроцессы могут представляться с различным уровнем детализации.

Как показано, например, на рисунке 5, в первом варианте моделирование этапов подачи ракет из арсенала в техническую ракетную базу (ТРБ) и их транспортирование в пункт передачи на транспорт соединения предполагает функциональный уровень детализации и может быть выполнено по усредненным значениям соответствующих исходных данных, в том числе аналитическим методом [8]. Моделирование этапа выдачи ракет на пусковые установки с учетом их предварительной перегрузки на транспорт соединения предполагает операционный уровень детализации и, соответственно, разработку имитационной модели. Очевидно, что данный вариант декомпозиции рассматриваемого процесса соответствует приоритетной задаче исследования временных характеристик функционирования сил и средств ракетного соединения.

Второй вариант декомпозиции, наоборот, направлен на исследование временных характеристик функционирования сил и средств ТРБ.

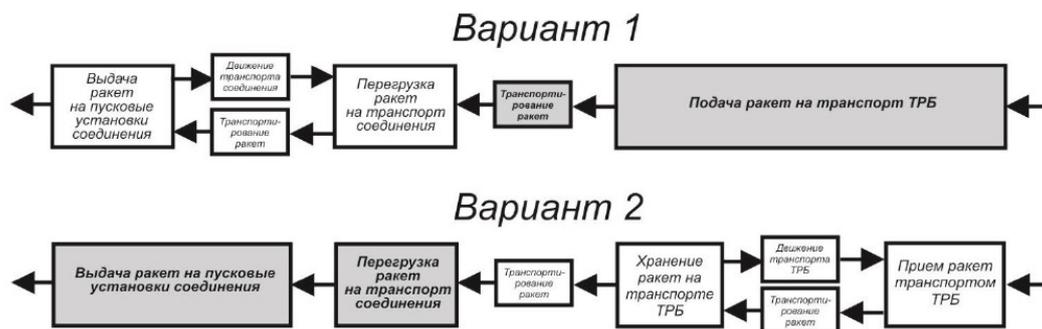


Рис. 5 – Применение при моделировании процессов МТО одновременно различных уровней детализации составляющих их подпроцессов (этапов)

Таким образом, в период с 2017 по 2021 год фактически были сформированы методологические основы имитационного моделирования процессов МТО. Отличительной особенностью при этом является одновременное проведение исследований в теории и практике имитационного моделирования, многие теоретические положения были сформированы именно по результатам, полученным в ходе разработки моделей. Результаты первого этапа развития современных методов имитационного моделирования процессов МТО были отражены в военно-теоретическом труде [9], который был представлен для рассмотрения в ведущие военные вузы и научно-исследовательские организации Министерства обороны.

Вместе с тем, фактически одновременно был сформирован и комплекс исследовательских имитационных моделей, включающий программные приложения, отличающиеся по замыслу и сложности разработки. При этом целью моделирования в каждом случае являлось не только создание исследовательского инструментария, но и отработка новых методических и технологических подходов к разработке имитационных моделей [10].

Так, например, в 2019 году при разработке модели обеспечения горючим группировки войск (сил) была впервые применена технология создания специализированного инструментального средства имитационного моделирования процессов МТО [11], позволяющая задавать в модели оперативный фон любого стратегического направления.

В 2020 году при создании модели управления запасами материальных средств применен комплексный подход к имитационному моделированию действий сил и средств МТО. Разработан современный многоуровневый интерфейс оператора с защитой от ошибок ввода исходных данных. Усовершенствована система автоматического определения и визуализации возникновения критических событий в моделируемом процессе.

В 2021 году в процессе проведения имитационного исследования был разработан и применен внешний программный модуль обработки статистической информации о моделируемом процессе, обеспечивающий формирование и визуализацию выходных результатов имитационной модели в заданной форме.

Начиная с 2022 года в Военной академии МТО реализуются совместные проекты сотрудников НИИ с представителями профессорско-преподавательского состава кафедр по внедрению и применению имитационных моделей в учебном процессе подготовки слушателей.

Воспроизведение при обучении военных специалистов процессов, происходящих в реальной профессиональной деятельности, на основе применения имитационных моделей этих процессов, позволяет интенсифицировать понимание, усвоение и творческое применение знаний при решении практических задач, а также развить навыки комплексного применения ими современных информационных технологий в дальнейшей профессиональной деятельности [12].

Разработка имитационных программных приложений для применения в учебном процессе носит итерационный характер. Например, первоначально была создана комплексная имитационная модель МТО общевойсковой армии при перегруппировке, предназначенная для применения слушателями в ходе решения соответствующей учебной задачи. Модель включала ограниченное количество программных средств автоматизированного решения информационных и расчетных (ИРЗ) и имитационный блок (рисунок 6), обеспечивающий, в том числе, визуализацию перевозочного процесса соединений и частей армии железнодорожным транспортом при перегруппировке в соответствии с заданными исходными данными.

В результате совершенствования комплексной модели существенно повысились ее возможности, как в части количества решаемых в автоматизированном режиме ИРЗ, числа должностных лиц, так и в расширении функционала имитационного блока, что уже позволяет рассматривать данное программное приложение как учебный расчетно-моделирующий комплекс.



Рис. 6 – Структура и порядок применения комплексной имитационной модели при подготовке военных специалистов

Для применения в учебном процессе актуально также комплексирование различных программных средств решения ИРЗ и имитационных моделей [13], то есть объединение их в системы, учебные расчетно-моделирующие программные комплексы. При этом основной целью комплексирования является обобщение и систематизация

всего имеющегося арсенала различных по принципам реализации программных средств, необходимых для решения ИРЗ в интересах МТО войск (сил) и имитационных моделей реализуемых процессов.

Что касается особенностей проведения научных исследований в направлении разработки и практического применения имитационных моделей в деятельности ОВУ МТО, следует отметить, что в настоящее время здесь существует большое число нерешенных проблемных вопросов, в том числе и организационного характера. Это, в первую очередь, опять же связано с отсутствием сертифицированных инструментальных средств разработки, а также с существующим регламентом принятия на снабжение подобных программных средств.

При этом существует и другой, пока не решенный проблемный вопрос, связанный с длительностью проведения имитационных экспериментов и поиска рациональных вариантов применения сил и средств МТО в различных условиях оперативной обстановки. Очевидно, что решение здесь может быть найдено именно на основе совместного применения имитационного моделирования с технологиями искусственного интеллекта.

Таким образом, накопленный в НИИ опыт имитационного моделирования процессов МТО войск (сил) показывает, что, с одной стороны, эффективность практического применения современных методов имитационного моделирования в военной сфере непосредственно зависит от наличия специализированных инструментальных средств, доступных широкому кругу военных специалистов, исследователей и разработчиков, с другой стороны, отсутствие таких средств инициирует поиск и создание новых технологических подходов к разработке имитационных моделей и их применению на практике.

Литература

1. **Буренок В.М.** Современные мировые тенденции развития и применения систем материально-технического обеспечения действий войск / Вооружение и экономика, №2(60) (2022). С.7-11.
2. **Петров А.В., Саяпин О.В., Денисов В.Н.** Система моделирования военных (боевых) действий Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная Мысль. 2019. № 8. С. 27-32.
3. **Плужников А.А.** Развитие системы моделирования боевых действий Сухопутных войск // Военная Мысль. 2020. № 10. С. 37-44.
4. **Бойко А.А., Иванников К.С., Ишук В.А., Стрельников С.И.** Расчетно-моделирующий комплекс для оценки эффективности боевых действий // Военная мысль. – 2020. – № 12. С. 56-64.
5. **Бычков А.В., Батов В.Ю., Филяев М.П.** Проблемные вопросы применения программных инструментальных средств при разработке имитационных моделей процессов материально-технического обеспечения войск (сил) // Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в военной сфере «Имитационное моделирование систем военного назначения, действий войск и процессов их обеспечения» («ИМСВН-2022»): труды конференции, 20 октября 2022 г., Санкт-Петербург. – СПб.: ВА МТО; М.: РИОР, 2022. 199 с.– С. 61-67.
6. **Филяев М.П.** Интегрированный подход к формализации логистического процесса // В сборнике: Теоретические и концептуальные проблемы логистики и управление цепями поставок. Сборник статей II Международной научно-практической конференции (20-21 июня 2020 г.) – Пенза: ПГАУ. С. 82-86.

7. **Филяев М.П.** Формализация логистического процесса на основе построения его диаграммы // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2020. № 2 (16). С. 81-91.
8. **Филяев М.П., Воробьев А.А.** Актуальные вопросы имитационно-аналитического моделирования логистических процессов ракетно-технического обеспечения / В сборнике: Восьмые Уткинские чтения. Труды Общероссийской научно-технической конференции. Сер. «Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ»». 2019. С. 290-296.
9. **Батов В.Ю., Бычков А.В., Воробьев А.А., Филяев М.П.** Имитационное моделирование процессов материально-технического обеспечения войск (сил): военно-теоретический труд. – СПб.: ВА МТО, 2021. – 254 с.
10. **Бычков А.В., Батов В.Ю., Филяев М.П.** Проблемные вопросы моделирования материально-технического обеспечения боевых действий и пути их решения // Состояние и перспективы развития моделирования в Вооруженных Силах Российской Федерации. Научно-технический сборник №1 (188). – М.: 27 ЦНИИ МО РФ, 2021. С. 375-383.
11. **Филяев М.П., Воробьев А.А.** Технология создания специализированных инструментальных средств имитационного моделирования логистических процессов / В сборнике: Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Труды конференции. 2019. С. 580-586.
12. **Цельковских А.А., Бычков А.В., Филяев М.П.** Применение имитационных моделей процессов материально-технического обеспечения войск (сил) при обучении военных специалистов // Военная Мысль. 2023. № 10. С. 81-89.
13. **Филяев М.П., Кашевар М.И.** Комплексирование программных средств для решения информационных и расчетных задач в интересах материально-технического обеспечения войск (сил) // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2023. № 2 (28). С. 32-39.