

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЛУЖБЫ ГОРЮЧЕГО****Ю.Н. Пирогов, Ф.Е. Шарыкин (Москва)**

Повышение требований к качественным параметрам принимаемых для оснащения Вооружённых Сил Российской Федерации образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) влечёт за собой возрастание требований к обоснованию технических и организационных решений исходя из принципа минимизации затрат при безусловном выполнении ими задач в установленные нормативные сроки.

Одним из важных условий успешного решения войсками боевых задач является устойчивое и бесперебойное обеспечение их горюче-смазочными материалами, возлагаемое на службу горючего, оснащённую широким комплексом технических средств. Исходя из этих условий, технические средства службы горючего (ТС СГ) должны обеспечивать возможность накопления и содержания установленных размеров запасов, их доставки потребителям, заправки ВВСТ всех видов и родов войск кондиционным горючим, а также поддержание высокой собственной технической и боевой готовности.

Требования к оптимальности комплекса образцов ТС СГ обуславливают необходимость и целесообразность тщательного обоснования их состава, основных тактико-технических характеристик и потребности. Оптимизация значений названных величин может быть достигнута при использовании для этих целей математических моделей процессов применения ТС СГ по своему функционально-штатному предназначению. Анализ опыта применения основных групп ТС СГ и их математического моделирования показывает, что в большинстве случаев для разработки моделей успешно может быть использован математический аппарат теории исследования операций [1-4].

В настоящее время в ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России» на основе математического аппарата исследования операций накоплен определённый опыт имитационного моделирования процессов применения ТС СГ и их систем [4].

Основная задача исследования операций, как известно, состоит в предварительном обосновании оптимальных решений. В качестве критерия оптимальности обеспечивающих технических средств и систем, к которым относятся и ТС СГ, обычно принимается минимум затрат в том или ином выражении, при условии выполнения задачи по функционально-штатному предназначению в полном объёме и в установленные сроки с вероятностью, не ниже заданной [4].

При моделировании процессов применения ТС СГ учитывается тот факт, что в большинстве случаев образцы для решения стоящих задач используются в составе типового комплекта (ТК) соответствующего подразделения – типового воинского формирования (ТВФ), в связи с чем, в качестве критериев оптимальности предлагаются следующие варианты:

- стоимость закупки ТК ТВФ;
- стоимость жизненного цикла ТК ТВФ;
- штатная численность личного состава ТК ТВФ.

Исходя из случайного характера процессов применения ТС СГ, значений исходных данных и выбора критерия оптимальности, математические модели имеют, как правило, вероятностный характер, базируются на системном принципе с учётом основных воздействующих факторов и ограничений. Наибольший интерес для моделирования процессов применения ТС СГ и решения задач в интересах службы горючего представляют математические методы теории массового обслуживания,

динамики средних численностей состояний и статистических испытаний (Монте-Карло) [1-4].

Опыт построения математических моделей процессов применения ТС СГ [4] показывает, что в ряде сложных случаев целесообразно для решения одной и той же задачи иметь несколько моделей, отличающихся степенью сложности, детализации и адекватности реальным явлениям, чтобы переходя от простой модели (более грубой) к сложной (требующей большего времени на реализацию) поэтапно уточнять область возможных решений. Например, процесс, описываемый как система массового обслуживания (СМО), целесообразно на первом этапе исследовать в установившемся режиме на всём интервале исходных данных. На втором этапе для выбранного интервала исходных данных и выходных параметров системы провести анализ переходных процессов, а на третьем – уточнить выходные параметры системы с использованием методов статистического моделирования. Такой подход при наличии достаточно надёжных исходных данных обеспечивает получение результатов, сравнимых по достоверности с натурным экспериментом.

Из числа наиболее простых, используются математические модели, базирующиеся на классических методах математической статистики и теории вероятностей: корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализ, методы аппроксимации (например, «наименьших квадратов») и др. В частности, методы аппроксимации успешно используются для прогнозирования вместимости и стоимости автоцистерн для горючего на новых базовых шасси, сроков замены смазочных масел в системах ВВСТ, изменения их параметров в течение времени эксплуатации и др.

Метод статистических испытаний в упрощённом виде использован для моделирования процессов применения отдельной роты заправки горючим, а ТК автотопливозаправщиков общевойскового назначения – для заправки ВВСТ на марше, в районе сосредоточения и в обороне [5-6]. В качестве исходной информации взяты результаты статистической обработки опытных данных по времени выполнения отдельных элементарных операций процесса, собранных в процессе учебно-боевой подготовки, тактико-тыловых учений, а также различных видов испытаний.

Этот метод математического моделирования является наиболее универсальным, позволяющим создавать модели, адекватно отражающие реальные процессы, не требуя высокой математической подготовки, но до последнего времени был трудоёмок при разработке алгоритмов и программ реализации на ЭВМ с использованием языков программирования высокого уровня. С появлением специализированного программного обеспечения, ориентированного главным образом на моделирование с использованием метода статистических испытаний, возможности его широкого применения в исследованиях существенно возросли.

Наибольшее распространение для моделирования процессов применения ТС СГ в составе комплексов и систем получили математические методы теории массового обслуживания на основе Марковских случайных процессов. Их применение обусловлено наличием в процессах высокой вероятности образования очереди на обслуживание и, соответственно, простоя обслуживаемых объектов. К таким системам относятся централизованные заправщики топливом, аэродромные автотопливозаправщики, групповые заправщики малых кораблей, комплекты беспричальной заправки кораблей, заправочные пункты войсковых частей, системы и средства контроля качества горючего и ракетного топлива, ремонта и технического обслуживания, управления запасами материальных средств на складах, участки массовой выдачи горючего в автотранспорт, слива-налива железнодорожных цистерн на полевых и стационарных складах горючего, системы подвоза труб на трассу полевых магистральных трубопроводов (ПМТ), их монтажа и др. [7-8]. Перечисленные

системы по своему содержанию являются моделями применения и обоснования технического оснащения в соответствии с выбранным критерием и позволяют описывать процессы применения по назначению как одиночных образцов ТС СГ, так и их комплексов.

В зависимости от конкретных условий применения и предъявляемых требований используются замкнутые и разомкнутые модели СМО, с одиночным и групповым поступлением заявок, одноканальные и многоканальные, а решение осуществляется в стационарном или (и) переходном режимах. При решении задач управления запасами горючего для обеспечения дискретности поставки (групповые заявки) выражаются через партии отгрузки или наоборот [4].

Требования к основным тактико-техническим характеристикам систем заправки, как замкнутых СМО в общем случае определяются комплексом исходных данных. В зависимости от поставленной задачи параметры модели могут выступать в роли либо исходных данных, либо искомым (обосновываемых) характеристик системы.

Значения параметров потоков заявок на обслуживание, ограничения и требования к пропускной способности СМО задаются оперативно-тыловыми или оперативно-тактическими условиями применения объектов и ТС СГ. По результатам моделирования по выбранному критерию оптимизируются требования ко времени обслуживания, тактико-техническим характеристикам, составу и штатной численности образцов, обеспечивающих выполнение задач в полном объёме и в установленные сроки с учётом ограничений на длину очереди и время пребывания в ней [9].

При решении задач управления запасами обосновываются требования к вместимости складов, обеспечивающей при заданной стратегии бесперебойность снабжения горючим потребителей минимальные риски отсутствия запасов и свободной резервуарной ёмкости. На языке СМО запасы могут интерпретироваться как очередь заявок или требований на обслуживание [4, 10]. Например, обоснование достаточности вместимости резервуарного парка склада горючего любого состава может быть осуществлена с использованием математической модели многоканальной СМО с групповым поступлением заявок, так как пополнение запасов, как правило, осуществляется партиями, в несколько раз превышающими объём партий отгрузки.

При моделировании процесса функционирования склада горючего могут применяться различные стратегии управления запасами. Удобна, например, стратегия управления, состоящая в том, что размер партии пополнения задаётся кратным объёму партии выдачи, а подача заявки на доставку очередной партии производится только после освобождения необходимой для её приёма резервуарной ёмкости. Время выполнения поставки может задаваться исходя из статистических данных или расстояния подвоза. Вероятность отсутствия запасов для обеспечения устойчивости системы обеспечения должна быть достаточно мала и не превышать, например, 5 %. Рост вместимости резервуарной ёмкости снижает риск отсутствия запасов, гарантируя, таким образом, устойчивость функционирования системы обеспечения горючим [10].

Достаточно плодотворные результаты даёт использование методов динамики средних численностей состояний по схеме Марковских случайных процессов, которые широко используются при исследовании надёжности и живучести ТС СГ. На их базе построены математические модели транспортно-складской системы подачи горючего войскам в операциях, прогнозирования обеспеченности службы горючего ТС СГ, обоснования размера заказа новых ТС СГ на очередной год и длительную перспективу с учётом приоритетности, объёма финансирования и др.

Не менее плодотворным оказалось использование методов динамики средних численностей состояний для моделирования ряда процессов применения систем и ТС СГ. В частности, с использованием этого метода разработаны модели

эшелонированной транспортно-складской системы обеспечения войск горючим в операциях, оценки технического состояния и обеспеченности ТС СГ в операциях и в течение жизненного цикла, а также процесса функционирования модульного ротного участка ПМТ с учётом надёжности и живучести его основных элементов.

В математической модели эшелонированной транспортно-складской системы обеспечения горючим в результате решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена с заданными начальными условиями по запасам на складах определяется их наличие по дням операции при заданных по эшелонам тыла объёмам расхода и возможностям используемых видов транспорта (железнодорожного, водного, трубопроводного, автомобильного или воздушного). Для обеспечения требуемого уровня наличия запасов возможности различных видов транспорта могут варьироваться. В связи с ограниченной пропускной способностью железных дорог и квотой на наливные транспорта, покрытие дефицита обычно возлагается на трубопроводный транспорт, а в случае невозможности его применение – на автомобильный [4].

В моделях оценки технического состояния и обеспеченности ТС СГ в мирное время в течение жизненного цикла значения параметров выхода из строя, списания и восстановления при различных видах ремонта предполагаются известными по статистическим данным. В модели оценки состояния и обеспеченности ТС СГ в операциях значения параметров отказов и повреждений складываются, а значения времени восстановления рассчитываются с учётом соотношения интенсивностей отказов и повреждений.

Модель ротного участка ПМТ является модульным элементом линии ПМТ любой протяжённости, поэтому её можно считать достаточно универсальной. Такой участок может находиться в трех основных состояниях: полной (расчётной) производительности, простоя и промежуточной производительности, определяемой числом и местом вышедших из строя насосных станций. Определение значений параметров переходов из состояния в состояние осуществляется аналогично изложенному для модели эшелонированной системы ремонта ТС СГ, исходя из надёжности основных элементов (насосные станции, линейная часть, промежуточная резервуарная группа), а также их живучести при заданном объёме воздействия противника.

Выводы

Таким образом, разработанные в ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России» математические модели позволяют исследовать процессы применения большинства систем и технических средств, оценивать их эффективность и проводить обоснование по выбранному критерию оптимальных значений тактико-технических характеристик, их состав, штатную численность, а также разрабатывать предложения по повышению эффективности применения.

Дальнейшее развитие математических исследовательских моделей в области материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации, в том числе ТС СГ, лежит на пути их популяризации, внедрения в системы автоматизированного управления войсками, широкого освоения в исследованиях и учебном процессе, интеграции с моделями материально-технического обеспечения и ведения боя.

Литература

1. **Абчук В.А.** Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф.А. Матвейчука / В.А. Абчук. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
2. **Новиков О.А.** Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О.А. Новиков, С.И. Петухов. – М.: Издательство «Советское радио», 1969. – 400 с.
3. **Букан Дж.** Научное управление запасами / Пер. с англ. Е.Г. Коваленко / Под ред. Б.В. Гнеденко / Дж. Букан, Э. Кенигсберг. – М.: Издательство «Наука», 1967. – 424 с.
4. **Пирогов Ю.Н.** Математическое моделирование процессов функционирования объектов и технических средств обеспечения горючим. – М.: Издательство «Неография», 2006. – 228 с.
5. **Пирогов Ю.Н., Шарыкин Ф.Е., Безручкин В.В., Шарыкин Г.Е.** Анализ эффективности применения средств групповой заправки вооружения, военной и специальной техники на марше // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2019. № 9. С. 279-288.
6. **Пирогов Ю.Н., Шарыкин Ф.Е., Безручкин В.В., Шарыкин Г.Е.** Автотопливозаправщик массовой выдачи и модели вариантов его применения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2017. № 5. С. 202-214.
7. **Пирогов Ю.Н., Шарыкин Ф.Е., Безручкин В.В.** Методические подходы к обоснованию выбора систем и средств заправки воздушных судов армейской авиации // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. Выпуск № 59, 2020. С. 561-571.
8. **Пирогов Ю.Н., Шарыкин Ф.Е., Безручкин В.В.** Методические подходы к оценке военно-технической эффективности применения комплектов групповой заправки летательных аппаратов армейской авиации // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. Выпуск № 58, 2018. С. 493-502.
9. **Пирогов Ю.Н., Шарыкин Ф.Е., Безручкин В.В., Шарыкин Г.Е.** Анализ опыта применения автомобильных средств заправки общевойскового назначения и оценка их соответствия современным требованиям назначения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук, 2017. № 4. С. 115-121.
10. **Пирогов Ю.Н., Попов А.В., Самарина Г.Ф., Шарыкин Ф.Е.** Концепция модульной структуры полевых складов горючего бригад материально-технического обеспечения // Труды ВКА им. Можайского. Выпуск № 4, 2021. С. 161-170.