

$$M[x] = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{l_1} x_i .$$

При наличии же только числа наблюдений n_1 можно определить относительную точность оценки математического ожидания при доверительной вероятности P_0 :

$$\Delta \sigma_n = \left[1 - \sqrt{\frac{\sigma_x}{n_1} \cdot \frac{S^{-1} \cdot (P_0)}{M[x]}} \right] \cdot 100\% .$$

Применение данного метода также осуществляется и для нахождения числа наблюдений интервала времени между проводимыми очередными техническими обслуживаниями автомобилей и для определения относительной точности оценки математического ожидания.

УДК 623.48

Математическая модель процессов эвакуации в войсковом звене батальона

Гончаренко Я. Г.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье показана математическая модель эвакуации в войсковом звене.

Модель позволяет оценить эффективность функционирования эвакуации в войсковом звене, сравнивать планируемые варианты эвакуации и выбирать из них рациональные.

При ведении боевых действий большое внимание уделяется вопросам эвакуации вооружения военной специальной техники (далее – ВВСТ), поскольку эвакуация является одним из этапов восстановления. От того насколько эффективно будет проведена эвакуация будет зависеть восстановление ВВСТ. В свою очередь от восстановления будет зависеть наличие в строю исправных ВВСТ, а, следовательно, и результат боевых действий.

Рассмотрим процессы эвакуации на примере функционирования средств эвакуации в войсковом звене батальона. Под средствами эвакуации будем понимать танковые и другие гусеничные тягачи, бронированные ремонтно-эвакуационные машины, машины технической помощи, оснащённые тяговыми лебёдками, комплектами такелажного оборудования и другими необходимыми устройствами, и инструментом. Выделим

ряд основных этапов процесса функционирования одного (единичного) средства эвакуации (рис. 1.1).

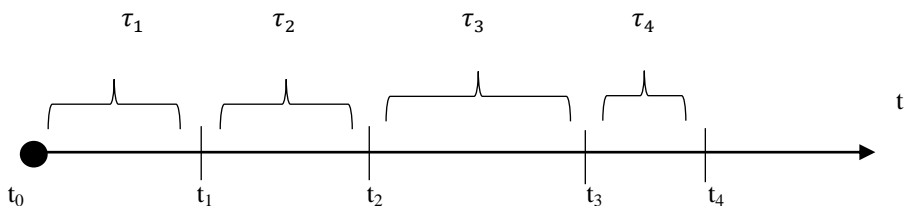


Рисунок 1.1 – Временная диаграмма процесса функционирования средства эвакуации

В исходном состоянии средства эвакуации находятся на заданном удалении от боевых порядков войск или в установленных местах согласно решения командира. По результатам технической разведки информация о неисправных объектах ВВСТ поступает в органы управления технического обеспечения. На основании полученной информации принимается одно из решений: ремонт неисправного образца вооружения на месте выхода из строя либо эвакуация его с поля боя. С момента принятия решения о эвакуации (рис 1.1) ближайший тягач перемещается к неисправному объекту вооружения, на что затрачивается интервал времени τ_1 . По прибытии к неисправному объекту производятся подготовительные работы, которые продолжаются в течение интервала времени τ_2 (рис. 1.1) и могут включать: выполнение земляных и саперно-строительных работ (расчистка выходов и путей эвакуации, оборудование настилов на заболоченных участках местности, изготовление анкеров и других вспомогательных устройств, обеспечивающих быструю эвакуацию); ремонт составных узлов неисправного объекта, без которых его эвакуация затруднена или невозможна (ремонт ходовой части, механизмов управления, снятие отдельных повреждённых узлов и деталей, мешающих эвакуации, и др.); погрузочно-разгрузочные и сцепные работы. Подготовительные работы заканчиваются моментом времени t_2 , означающим начало транспортирования (буксирования) неисправного объекта к месту ремонта или в укрытие (как правило под прикрытие второго эшелона на тыльную сторону боевого порядка батальона). Длительность этапа τ_3 зависит от средней скорости транспортирования (буксирования) неисправного образца и величины плеча эвакуации. Интервал τ_3 заканчивается моментом времени t_3 . С этого момента средство эвакуации возвращается в исходное место (район). Продолжительность заключительного τ_4 этапа определяется величиной плеча эвакуации и средней скоростью движения средства эвакуации в ненагруженном

состоянии. Прибыв в исходное место (район), средство эвакуации ожидает следующего требования; при его наличии незамедлительно приступает к выполнению эвакуационных работ и цикл повторяется.

Объект вооружения с момента выхода из строя до момента начала его транспортирования (буксирования) t_2 (рис. 1.1) может находиться под повторным огневым воздействием противника. Это приводит к значительному увеличению трудоёмкости ремонта или полному уничтожению объекта вооружения. Вместе с тем, потери восстанавливаемого вооружения могут быть вызваны перемещением линии обороны. В этом случае несвоевременность эвакуации приводит к захвату неисправных образцов ВВСТ противником, т.е. к их полной потере. Рассмотренные замечания указывают на то, что оперативность эвакуации в батальонном войсковом звене имеет важное значение.

Для оценки качества эвакуации первого уровня определим показатели эффективности функционирования средств эвакуации на этом уровне. Главным требованием к этим показателям является строгое соответствие их целевому назначению. Цель эвакуации первого уровня заключается в своевременном выводе из-под огня противника максимального количества неисправных объектов ВВСТ. Доминирующее положение в целевом назначении занимают своевременность и полнота эвакуации. Поэтому в качестве меры целевого назначения (меры эффективности) эвакуации первого уровня примем следующие показатели:

- математическое ожидание количества объектов вооружения потерянных (уничтоженных, захваченных противником) в результате несвоевременной эвакуации первого уровня $M[N_n]$;

- математическое ожидание количества эвакуированных объектов ВВСТ $M[N_3]$.

Эти показатели позволяют оценить степень эффективности эвакуации первого уровня, сравнивать различные варианты её организации и выбирать рациональные. Основой для расчёта показателей эффективности служит математическая модель процессов эвакуации первого уровня. Под указанной математической моделью будем понимать систему математических зависимостей и логических правил, позволяющую с достаточной полнотой и точностью описывать наиболее существенные процессы функционирования эвакуационных подразделений, осуществляющих эвакуацию первого уровня, и оценивать эффективность различных вариантов их применения.

Задача состоит в том, чтобы в рамках разрабатываемой математической модели получить аналитические выражения для оценки принятых показателей эффективности $M[N_n]$ и $M[N_3]$. Для построения математической модели используем аппарат теории массового обслуживания. Поэтому внача-

ле сформулируем свойства входного потока событий, дисциплину и характеристики обслуживания.

Входной поток представляет собой последовательность поступления требований эвакуации неисправных образцов ВВСТ с поля боя. Под указанными требованиями будем понимать моменты принятия решения о эвакуации конкретных неисправных объектов ВВСТ; эти моменты отличны от моментов выхода вооружения из строя на величину интервала времени, необходимого для проведения технической разведки и выработки решения о способе его восстановления.

Рассматриваемая система массового обслуживания имеет n каналов. Количество каналов соответствует количеству средств эвакуации первого уровня в войсковом звене батальона. Заявка принимается на обслуживание сразу, если в СМО имеются свободные каналы. Если их нет, то заявка (неисправный образец вооружения) ожидает обслуживания в очереди с неограниченным количеством мест. Время пребывания заявки в очереди ограничено некоторым случайным интервалом со средним значением $t_{оч}$. Если длительность ожидания превзошла эту величину, то заявка покидает СМО необслуженной, т.е. неисправный объект вооружения в результате продолжительного ожидания эвакуации переходит в разряд безвозвратных потерь по причине повторного огневого поражения или перемещением линии обороны и захвата противником. Таким образом, на каждую заявку, находящуюся в очереди, воздействует «поток уходов» с интенсивностью $\nu = l/t_{оч}$. Длительность обслуживания каждого требования – случайная величина. За начало обслуживания принимается момент поступления заявки t_0 (рис. 1.1), если имеется хотя бы один свободный канал (средство эвакуации). Окончание обслуживания происходит в момент возвращения эвакуационного средства в исходное положение момент времени t_4 на (рис. 1.1). Если же в момент поступления заявки все каналы заняты, то длительность её обслуживания увеличивается на величину времени нахождения в очереди. Обслуживание поступающих требований осуществляется по принципу «первый пришёл – первый обслужился», т.е. в порядке поступления.

Сформируем исходные предпосылки и допущения, при которых разрабатывается математическая модель процессов эвакуации первого уровня. Пусть на вход рассмотренной СМО поступает простейший поток требований с плотностью λ . Длительность обслуживания заявок имеет распределение по экспоненциальному закону с параметром $\mu = \frac{1}{M[\tau_{обсл}]}$, где $M[\tau_{обсл}]$ – математическое ожидание величины интервала обслуживания. При этом производительность всех каналов считается одинаковой.

Будем считать, что длительность пребывания требований в очереди также случайная величина, имеющая экспоненциальный закон распреде-

ления с параметром ν и не зависящая от других факторов, например, от количества требований находящихся в очереди, времени пребывания в очереди других требований и т.п. Неисправные объекты ВВСТ, являющиеся предметом функционирования эвакуационных подразделений первого уровня, принимаются равнозначными и не имеющими приоритетов в обслуживании. Благодаря сделанным допущениям протекающие в СМО процессы будут марковскими.

Рассмотренная СМО относится к классу многоканальных с ограниченным временем ожидания (согласно символике Д. Кендала – $M/M/n/s/\infty$). Пронумеруем состояния СМО по числу требований, связанных системой, как обслуживаемых, так и находящихся в очереди:

- S_0 – все средства свободны;
- S_1 – занято одно средство эвакуации, остальные свободны;
- S_2 – заняты два средства эвакуации, остальные свободны;
- S_k – занято k средств эвакуации, очереди нет;
- S_n – заняты все n средств эвакуации, очереди нет;
- S_{n+1} – заняты все n средств эвакуации, одно требование стоит в очереди;
- S_{n+s} – заняты все n средств эвакуации, s требований ожидает обслуживания в очереди и т.д.

Совокупность перечисленных состояний СМО и возможных переходов представим размеченным графом (рис. 1.2).

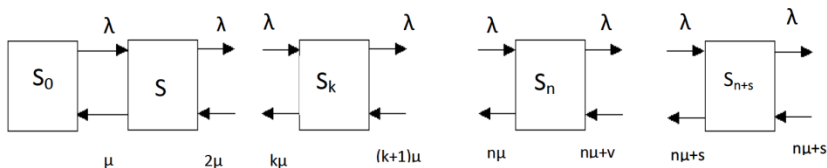


Рисунок 1.2 – Граф состояний и преходов процесса функционирования эвакуационного подразделения батальонного войскового звена

У всех стрелок, указывающих направление переходов слева направо, стоят интенсивности потока требований λ . У стрелок, указывающих направление перехода ведущих справа налево, стоят:

- из состояний без очереди – суммарная интенсивность потока обслуживания всех занятых каналов;
- из состояний с очередью – суммарная интенсивность потока обслуживания всех n каналов $n\mu$ плюс соответствующая суммарная интенсивность потока уходов из очереди. В рассматриваемой СМО

установившийся режим достигается независимо от интенсивности входного потока заявок. Решение системы алгебраических уравнений для установившегося режима, записанной для данного графа состояний и переходов имеет вид:

$$P_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{l=0}^n \frac{\rho^l}{l!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{\varepsilon=1}^s (n+\varepsilon\beta)}} \text{ при } 0 \leq k \leq n; \quad (1.1)$$

$$P_{k+1} = \frac{\frac{\rho^k}{k!} * \frac{\rho^s}{\prod_{\varepsilon=1}^s (n+\varepsilon\beta)}}{\sum_{l=0}^n \frac{\rho^l}{l!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{\varepsilon=1}^s (n+\varepsilon\beta)}} \text{ при } s \leq 1, \quad (1.2)$$

где n – количество каналов (количество средств эвакуации в батальонном войсковом звене);

$\rho = \lambda/\mu$ – приведённая плотность потока требований эвакуации неисправных объектов ВВСТ в разряд безвозвратных потерь;

$\beta = v/\mu$ – приведённая плотность потока перехода неисправных и подлежащих эвакуации объектов ВВСТ в разряд безвозвратных потерь;

P_k, P_{k+1} – вероятности состояний, соответствующие графу, изображённому на рис. 1.1.

Параметры ρ и β выражают соответственно среднее число заявок и среднее число уходов заявок, состоящих в очереди, приходящихся на среднее время обслуживания одной заявки.

Имея (1.1) и (1.2), определим вероятность того, что неисправный объект вооружения в результате ожидания эвакуации переходит в разряд безвозвратных потерь по причине повторного огневого воздействия или перемещения линии обороны.

$$P_k = \frac{\beta}{\rho} * \frac{\frac{\rho^k}{k!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{\varepsilon=1}^s (n+\varepsilon\beta)}}{\sum_{l=0}^n \frac{\rho^l}{l!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{\varepsilon=1}^s (n+\varepsilon\beta)}} \quad (1.3)$$

Тогда математическое ожидание количества уничтоженных или захваченных объектов ВВСТ из-за несвоевременности эвакуации за интервал времени t определяется выражением:

$$M[N_H]^t = P_H \lambda t, \quad (1.4)$$

t – время функционирования эвакуационного подразделения первого уровня.

Учитывая, что вероятность успешной эвакуации исправного объекта вооружения равна $(1-P_H)$, запишем выражение для математического

ожидания количества успешно эвакуированных объектов ВВСТ за интервал времени t :

$$M[N_3]^t = (1 - P_H)\lambda t, \quad (1.5)$$

Правомерность использования аппарата теории массового обслуживания для установившегося режима функционирования и стационарного входного потока объясняется постоянством плеча эвакуации, так как средства эвакуации батальонного звена перемещаются вместе с войсками и практически постоянно выдерживают заданное удаление от них. При этом эвакуация производится только в укрытия, либо на тыльную границу боевого порядка батальона. На практике установившийся режим достигается через отрезок времени, в 3–4 раза больший величины, равной $1/\mu$, что пренебрежимо мало по сравнению с общей продолжительностью функционирования средств эвакуации в период операции, которая может составлять несколько суток.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет оценить эффективность функционирования эвакуации в войсковом звене, сравнивать планируемые варианты эвакуации и выбирать из них рациональные

УДК 623.437

Влияние уровня технической и специальной подготовки личного состава на эффективность восстановления автомобильной техники

Долудо С. В., Ким С. Ю.

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Поскольку главным элементом системы восстановления автомобильной техники (далее – СВ АТ) всегда были и остаются люди (специалисты-ремонтники), то любой метод оценки эффективности СВ АТ без учета личных качеств людей нельзя признать достаточно объективным.

СВ АТ с одинаковой организационной и технической основой будут обладать различной эффективностью в зависимости от того, кто находится во главе и из каких специалистов сформированы ремонтные органы, насколько они подготовлены к решению задач восстановления АТ в боевой обстановке.

Следовательно, учет уровня подготовки специалистов-ремонтников – обязательная составная часть оценки эффективности СВ АТ. Однако сего-