

УДК: 623.438.7

DOI: 10.53816/23061456\_2021\_11-12\_133

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОХОДИМОСТИ ПЛАВАЮЩИХ МАШИН  
БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ  
ВОДНОЙ ПРЕГРАДЫ**

**PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE PATENCY OF FLOATING ARMORED  
VEHICLES WHEN OVERCOMING A WATER BARRIER**

*А.В. Шаховцов, канд. техн. наук О.А. Серяков*

*A.V. Shakhovtsov, Ph.D. O.A. Seryakov*

*Омский автобронетанковый инженерный институт*

В статье представлены расчетные исследования вероятности преодоления мелко-водных участков водных преград отечественными и зарубежными образцами плавающих машин бронетанкового вооружения. Исследования проводились с использованием математической модели процесса выхода машины из воды на берег, позволяющей сократить расходы на проведение оценки проходимости, вследствие отсутствия необходимости в организации дорогостоящих натурных испытаний образцов плавающих машин. Получены результаты количественной оценки проходимости плавающих машин бронетанкового вооружения с различным сочетанием сухопутного и водородного двигателей. Проведен анализ полученных результатов расчетных исследований.

**Ключевые слова:** плавающая машина, водная преграда, мелководье, выход на берег, проходимость, математическая модель, вероятность.

The article presents calculated studies of the probability of overcoming shallow sections of water barriers by domestic and foreign samples of floating armored vehicles. The research was carried out using a mathematical model of the process of leaving the machine from the water to the shore, which allows to reduce the cost of conducting a cross-country assessment, due to the absence of the need to organize expensive full-scale tests of samples of floating machines. The results of a quantitative assessment of the cross-country capability of floating armored vehicles with a different combination of land and water propulsion are obtained. The analysis of the obtained results of computational studies is carried out.

**Keywords:** floating vehicle, water barrier, shallow water, access to the shore, passability, mathematical model, probability.

Анализ эксплуатации плавающих машин бронетанкового вооружения (ПМ БТВ) показывает, что наиболее трудными условиями эксплуатации ПМ является работа в прибрежных участках морей и океанов в периоды сильных приливов и отливов, в полосе прибоя различной балльности, а также на широких реках с больши-

ми скоростями течения. Из этих трех отмеченных характерных режимных условий, каждый из которых по-своему специфичен и труден, выделяется особо режим работы ПМ в прибойной зоне. Волнение в прибойной зоне вблизи берега по своему характеру и последствиям воздействия на ПМ более сложное и опасное явление,

чем волнение далеко от берега на больших глубинах. Энергия прибойных волн значительна. Поэтому вход в воду, а особенно выход ПМ БТВ на берег в прибойной зоне являются сложными процессами и требуют высокой надежности машин, в частности, конструктивных элементов корпуса, ходовой части, движительно-рулевого комплекса [1, 2].

Следовательно, проблема преодоления мелководных участков водных преград отождествляется, прежде всего, с проблемой выхода ПМ БТВ из воды на берег.

Оценка приспособленности ПМ к преодолению мелководных участков водных преград является значимой на каждом этапе разработки машины и является необходимым условием исследований по обоснованию требований к ним и комплексной оценке их подвижности при преодолении водных преград.

Таким образом, целью данной работы является оценка вероятности выхода ПМ БТВ из воды на берег при преодолении мелководного участка водной преграды.

Оценка вероятности проводилась на основании математической модели процесса выхода ПМ БТВ из воды на берег [3] и программы для ЭВМ [4].

Последовательность проведения оценки следующая:

- подготовка исходных данных о внешних условиях и образцах ПМ БТВ;
- расчетное определение вероятностей выхода оцениваемых образцов ПМ БТВ из воды на берег в заданных внешних условиях;
- вывод о приспособленности образцов к преодолению мелководного участка.

Анализ условия применения ПМ БТВ показывает, что наиболее сложной водной преградой, с точки зрения приспособленности машин к выходу из воды на берег, является прибрежная морская акватория [5].

Грунт дна на побережье, как правило, песок, ил, галька, ракушка, камень, скала, местами коралл. Берега преимущественно низкие, отлогие, уклон дна и прилегающего побережья на десантно-доступных участках не превышает  $7,2^\circ$ . На большинстве участков преобладает умеренное волнение водной поверхности от 1 до 4 баллов. Повторяемость волнения водной поверхности до 3 баллов составляет 65–70 % [5].

Вследствие воздействия разрушающихся волн на корпус ПМ БТВ происходит изменение его дифферента. Так, при волнении 3 балла и дифференте машины на нос, в момент контакта сухопутного движителя (СД) с грунтом, угол встречи ПМ с берегом может составлять не  $7...8^\circ$  [5], а  $11...12^\circ$  (иногда возможно увеличение угла встречи до  $15^\circ$  [6]).

В связи с этим, для оценки вероятности выхода ПМ БТВ из воды на берег примем следующие допущения:

- уклон дна и прилегающего побережья составляет  $15^\circ$ , что более чем в два раза превышает среднестатистическое значение;
- волнение водной поверхности отсутствует.

Принятие допущения по углу наклона дна и прилегающего побережья равным  $15^\circ$  позволяет, в некоторой степени, компенсировать отсутствие математического аппарата для учета воздействия волн на корпус машины в процессе выхода из воды на берег.

Значения коэффициентов сцепления  $\varphi$  и сопротивления движению  $f$  гусеничных и колесных машин на подводных грунтах [2] приведены в табл. 1.

Из данных представленных в таблице можно сделать вывод, что существует некоторый разброс значений коэффициентов сцепления  $\varphi$  и сопротивления движению  $f$ . Это связано как с неоднородностью грунта (например, песок уплотненный, песок намывной, песок с илом), так и с индивидуальными особенностями СД машин.

Из конструктивных параметров на сцепные качества наибольшее влияние оказывает удельное давление и высота грунтозацепов. С увеличением удельного давления коэффициент сцепления  $\varphi$  уменьшается по гиперболическому закону. В свою очередь, увеличение высоты грунтозацепов приводит к увеличению коэффициента сцепления. Однако значительное увеличение высоты грунтозацепов нецелесообразно по причинам разрушения грунта и возрастания сопротивления движению. На основании испытаний наиболее рациональной следует считать высоту грунтозацепов траков (для колесных ПМ — протекторов шин) 25–30 мм [7].

Проведенный анализ показывает, что на десантно-доступных участках побережья грунт прилегающего побережья преимущественно песок, галька, камень.

Значения коэффициентов сцепления и сопротивления движению

Тип подводного грунта	Гусеничные машины		Колесные машины	
	$\varphi$	$f$	$\varphi$	$f$
Твердый каменистый	0,70–0,80	0,04–0,06	0,40–0,50	0,03–0,05
Песчаный	0,55–0,70	0,12–0,18	0,30–0,55	0,08–0,35
Суглинок	0,75–0,90	0,07–0,12	0,25–0,34	0,10–0,25
Илистый на твердом основании	0,50–0,65	0,10–0,15	0,20–0,25	0,10–0,30
Болотистый	0,30–0,40	0,18–0,30	0,25–0,40	0,15–0,25

Следовательно, задача для оценки вероятности выхода ПМ БТВ из воды на берег в прибойной зоне будет формулироваться следующим образом: машина должна выходить из спокойной воды на берег с уклоном 15°; грунт дна на побережье — песок.

В зависимости от типа СД коэффициенты сцепления  $\varphi$  и сопротивления движению  $f$  принимают следующие значения:

– для гусеничных ПМ БТВ —  $\varphi = 0,55...0,70$ ;  
 $f = 0,12...0,18$ ;

– для колесных ПМ БТВ —  $\varphi = 0,30...0,55$ ;  
 $f = 0,08...0,35$ .

Оценка проводилась на примере основных образцов, состоящих на вооружении армии Российской Федерации (РФ) (БМП-3, БТР-82А) и армии Соединенных Штатов Америки (США) (БТР LVTP7 (AAV-7A1), БТР M113A3). Выбор данных образцов обусловлен тем, что в их конструкции сочетаются основные типы СД и водходных движителей.

Краткая характеристика исследуемых образцов.

БМП-3 оснащена четырехтактным дизельным двигателем. Трансмиссия машины двухпоточная гидромеханическая с комплексной гидродинамической передачей, механизмом передач и поворота первого типа первой группы, с гидрообъемной передачей во втором потоке мощности, обеспечивает четыре передачи переднего и две передачи заднего хода. Подвеска машины независимая, торсионная. Гусеничный движитель с задним расположением ведущих колес и поддерживающими катками. Машина имеет два водометных движителя шнекового типа. Привод водометных движителей (ВД) независимый, осуществляется от механизма реверса. Управление машиной на плаву осуществляется за счет перекрытия выходного сопла одного из движителей кормовой заслонкой. Основные средства водооткачки эжекционного типа.

БТР-82А оснащен четырехтактным дизельным двигателем. Трансмиссия машины механическая с пятиступенчатой коробкой передач, двухступенчатой раздаточной коробкой, четырьмя разнесенными главными передачами. Подвеска машины независимая, торсионная. Колесный движитель с шинами регулируемого давления, колесная формула 8×8, четыре передних колеса — управляемые. Машина имеет один водометный движитель, привод которого зависимый, осуществляется от раздаточной коробки. Управление машиной на плаву осуществляется путем изменения направления выброса струи с помощью двух спаренных поворотных рулей, расположенных в выходном сечении водовода, а также поворотом управляемых колес. Основное средство водооткачки эжекционного типа.

БТР LVTP7 (AAV-7A1) оснащен многотопливным 8-цилиндровым V-образным дизельным двигателем с турбонаддувом. Трансмиссия состоит из гидростатической передачи с блокирующей муфтой, автоматической коробки передач, которая обеспечивает движение вперед на четырех передачах и назад на двух. Подвеска машины торсионная с дополнительными трубчатыми пружинами и гидравлическими амортизаторами. Машина имеет два водометных движителя, отбор мощности на которые осуществляется посредством специального блока, смонтированного сверху на трансмиссии, и двух валов. При плавании вода засасывается через отверстия, расположенные по обе стороны корпуса над верхними ветвями гусениц. Поворотные изогнутые задвижки обеспечивают изменение потока воды и, как следствие, повороты, задний ход, остановку. В случае выхода из строя водометных движителей, машина перемещается на плаву за счет перематывания гусениц.

БТР M113A3 оснащен четырехтактным дизельным двигателем с турбонаддувом. Гидроме-

ханическая трансмиссия, сочлененная с механической коробкой передач, которая обеспечивает движение вперед на шести передачах и назад на одной. Подвеска машины индивидуальная торсионная. Водомётных движителей машина не имеет, движение по водной поверхности осуществляется за счет перематывания гусениц.

Исходные данные о внешних условиях и образцах ПМ БТВ представлены в табл. 2. Данные подготовлены на основании результатов натурных измерений и таблиц технических характеристик образцов.

Результаты расчета представлены на рисунке.

В качестве критериального показателя вероятности выхода ПМ БТВ из воды на берег в заданных условиях принимаем значение, равное 0,5, что соответствует значению коэффициента проходимости  $K_{пр}$  для проходимых (десантно-доступных) участков местности [1]. Если

расчетная вероятность выхода оцениваемого образца ПМ БТВ из воды на берег больше критериального показателя, то машина обладает достаточной проходимостью на мелководных участках водных преград, в противном случае машина считается неприспособленной к действиям в заданных условиях.

Как видно на рисунке, лучшей приспособленностью к преодолению водной преграды обладают машины имеющие гусеничный и водоходный движители. Вероятность незастревания в начале выхода из воды на берег у таких машин находится в диапазоне 0,79...1,0. В конечной же стадии выхода, когда водоходные движители из-за оголения заборных отверстий водоводов прекращают свою работу, вероятность незастревания несколько снижается и составляет 0,97.

Проходимость машин имеющих только гусеничный движитель несколько ниже. Так, ве-

Таблица 2

Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Размерность	БМП-3	БТР-82А	БТР LVTP7 (AAV-7A1)	БТР М113А3
Вес машины	кН	185	157	248	128
Средняя осадка по корпусу	м	1,21	1,05	1,64	1,25
Ширина корпуса	м	3,20	2,99	3,27	2,69
Мощность двигателя	кВт	368	221	294	202
Коэффициент распределения мощности на ВД	–	0,62	0,55	0,64	0
Ширина гусеницы	м	0,38	–	0,53	0,38
Длина опорной поверхности	м	4,06	–	3,93	3,25
Число опорных катков на борт	–	6	–	6	5
Диаметр опорного катка	м	0,56	–	0,61	0,61
Шаг трака гусеницы	м	0,15	–	0,20	0,15
Сила тяги ВД на швартовах	кН	13	10,2	14,0	0
Скорость на плаву при волнении 3 балла	км/ч	8,0	7,6	8,7	4,0
Коэффициент снижения скорости на плаву	–	0,5	0,5	0,5	0,5
Коэффициент изменения массы	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Коэффициент сцепления СД с намывным песком	–	0,56	0,40	0,56	0,50
Коэффициент сопротивления намывного песка движению ПМ	–	0,16	0,13	0,16	0,15
Угол наклона берега	градусы	15	15	15	15

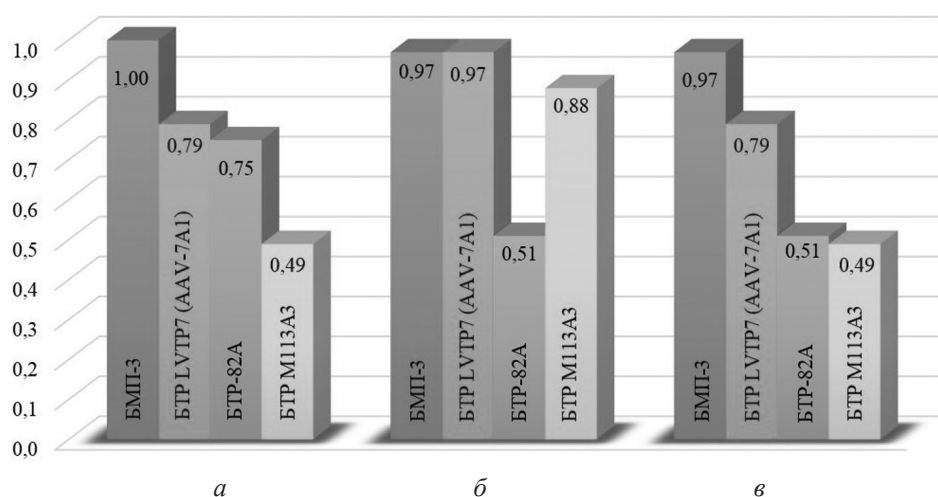


Рис. Результаты расчета вероятности выхода ПМ БТВ из воды на берег:

а — вероятность незастревания в начале выхода, б — вероятность незастревания в конце выхода, в — вероятность выхода машины из воды на берег

роятность незастревания в начале выхода из воды на берег БТР М113А3 равна 0,49. В процессе движения, когда опорные поверхности гусениц по всей своей длине соприкасаются с подводным грунтом, вероятность незастревания в конце выхода возрастает в 1,8 раза. Это объясняется следующим. БТР М113А3 не имеет специального ВД, поэтому сила тяги гусеничного движителя в начале выхода на берег значительно ниже суммарной тяги движителей машин, имеющих водометы. В конечной же стадии выхода значение вероятности (0,88) приближается к значениям данного показателя других гусеничных машин, так как на этой стадии их ВД прекращают свою работу из-за оголения заборных отверстий водоводов.

БТР-82А в начале выхода из воды на берег имеет достаточно высокую вероятность незастревания (0,75), так как оснащен водометом, создающим силу тяги, не связанную с грунтом. Однако в конце выхода вероятность незастревания значительно снижается, вследствие того, что водомет на данном этапе из-за оголения заборного отверстия прекращает свою работу, а колесный движитель не может обеспечить достаточную тягу по сцеплению на грунте с низкой несущей способностью.

Во всех рассматриваемых вариантах моделирование тяги сухопутных движителей было ограничено по сцеплению с грунтом, при этом мощности двигателей всех оцениваемых образцов бронетанкового вооружения были достаточ-

ными для создания тяги, превосходящей силу суммарного сопротивления движению в заданных условиях.

Таким образом, по результатам расчетных исследований вероятности преодоления ПМ БТВ мелководных участков водных преград можно сделать вывод, что при морском десантировании целесообразно использовать ПМ, оснащенные гусеничными сухопутными движителями и специальными водоходными движителями (водометами, гребными винтами). Применение машин с колесным СД, а также машин, не имеющих специальных ВД, нежелательно [11–13].

Проведенные расчеты показали логическую непротиворечивость математической модели [2], ее работоспособность и чувствительность к изменению исходных данных. Что касается реалистичности, то с целью ее проверки были проанализированы результаты натурных испытаний образцов ПМ БТВ в морских условиях [6, 8, 9, 10]. В отчетах по испытаниям указывается, что гусеничные машины не имели застреваний при выходе на берег (проверено при волнении 3 балла). Выход же колесных машин в таких же условиях примерно в половине случаев был неудачным. В основном застревание происходило из-за низких сцепных качеств колесного движителя на песчаном намывном грунте (ракушечник) в момент прекращения работы водомета. Отмечается также, что во многом успешность выхода зависела от квалификации водителя, его способности быстро переводить машину из режима движения на плаву



в режим движения на суше и умения подходить к берегу перпендикулярно фронту распространения волны. Углы наклона берега в районе испытаний были в пределах  $7...10^\circ$ .

Результаты моделирования не противоречат экспериментальным данным, следовательно, математическая модель процесса выхода ПМ БТВ из воды на берег [2] реалистична.

Следовательно, проведение оценки проходимости ПМ при преодолении водных преград с применением математической модели процесса выхода машины из воды на берег позволит свести до минимума расходы на проведение дорогостоящих натурных испытаний образцов ПМ, а также проводить количественную оценку проходимости на мелководных участках водных преград на всех этапах создания образца машины, при этом могут задаваться любые варианты внешних условий. Можно оценивать проходимость на мелководье различных ПМ БТВ (колесных и гусеничных), определять эффективность проведения на машинах мероприятий по их совершенствованию и модернизации (с точки зрения проходимости).

### Выводы

1. Проведена количественная оценка проходимости БМП-3, БТР-82А, БТР LVTP7 (AAV-7A1) и БТР M113A3 при выходе из воды на берег в условиях высадки морского десанта. Установлено, что лучшей проходимостью обладают гусеничные машины, имеющие специальные водоходные движители (водометы). Вероятности выхода на берег БМП-3 и БТР LVTP7 (AAV-7A1) довольно высоки и находятся в пределах  $0,79...0,97$ . По результатам расчетных исследований вероятности преодоления ПМ БТВ мелководных участков водных преград можно сделать вывод о нецелесообразности использования при морском десантировании ПМ БТВ с колесным движителем (вероятность выхода БТР-82А равна  $0,51$ ), а также машин, не имеющих специального водоходного движителя (вероятность выхода на берег БТР M113A3 равна  $0,49$ ).

2. Математическая модель [2] процесса выхода плавающей машины из воды на берег показала свою логическую непротиворечивость, реалистичность, чувствительность к изменению рабочих исходных данных и работоспособность.

3. Применение математической модели [2] позволит проводить количественную оценку проходимости на мелководных участках водных преград как колесных, так и гусеничных ПМ БТВ, ещё на этапе проектирования образца машины, при различных физико-механических свойствах грунтов и при любом угле наклона берега. Использование данной математической модели позволит снизить экономические затраты на проведения натурных испытаний.

### Литература

1. Крят В.М. Методика оценки водных преград. — М.: Воениздат. 1978. 160 с.
2. Степанов А.П. Проектирование амфибийных машин. — М.: Мегалион. 2007. 420 с.
3. Шаховцов А.В. Математическая модель процесса выхода плавающей машины из воды на берег: статья / А.В. Шаховцов, В.И. Кузнецов, К.О. Серяков // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 5–6 (155–156). С. 60–67.
4. Программа расчета вероятности преодоления плавающей машиной бронетанкового вооружения мелководного участка водной преграды / А.В. Шаховцов [и др.]. — М.: Реестр программ для ЭВМ, свидетельство о государственной регистрации от 19.01.2021. № 2021610853.
5. Концепция боевой плавающей машины морской пехоты: отчет о НИР, шифр «Концепция» / Отв. исполнитель О.А. Серяков. — Омск: ОТИИ. 2010. Инв. № 2519. 100 с.
6. Акт контрольных испытаний в морских условиях двух доработанных образцов БМП-3Ф / Исполнители: Смоляков С.И., Серяков О.А., Калинин А.М. Инв. № 5078. — Кубинка: 38 НИИИ МО РФ. 1990. 31 с.
7. Серяков О.А. Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения: учебник / О.А. Серяков [и др.]. — Омск: ОАБИИ. 2017. 354 с.
8. Результаты сравнительных испытаний БТ техники в морских условиях: отчет о НИР / Отв. Исполнители: Талалаев В.Н., Гулько И.П., Близниченко А.В. Инв. № 1635. — Кубинка: 38 НИИИ МО РФ. 1978. 124 с.
9. Анализ условий применения ПМ БТВТ в морской пехоте: отчет о НИР / Войсковая часть 68054. Инв. № 5034. 1990. 105 с.

10. Акт контрольных испытаний в морских условиях боевой машины пехоты БМП-3 в комплектации для оснащения морской пехоты ВМФ / Исполнители: С.И. Смоляков [и др.]. Инв. № 4750 / Войсковая часть 68054. 1989. 84 с.

11. Мамчур Ю.В., Серяков К.О. и др. Обоснование приоритетных направлений улучшения проходимости плавающих машин бронетанкового вооружения при выходе из воды на берег // Наука и военная безопасность. 2020. № 1 (20). С 79–85.

12. Червоный А.А., Шварц В.А., Козловцев А.П., Чобанян В.А. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. од редакцией проф. Л.А. Червоного. — М.: Военное издательство министерства обороны СССР. 1979. 95 с.

13. Тухватуллин Б.Т., Левченко Д.В., Ходоркин О.Л., Зольников И.В. Повышение проходимости автомобильной техники (боевых колёсных машин). Международный журнал перспективных исследований. Т. 10. 2020. № 2. С. 65–74.

### References

1. Kryat V.M. Method of water barriers assessment. — M.: Voenizdat. 1978. 160 p.

2. Stepanov A.P. Design of amphibious machines. — Moscow: Megalion. 2007. 420 p.

3. Shakhovtsov A.V. Mathematical model of the process of leaving the floating machine from the water to the shore: article / A.V. Shakhovtsov, V.I. Kuznetsov, K.O. Seryakov // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 5–6 (155–156). P. 60–67.

4. The program for calculating the probability of overcoming a shallow section of a water barrier by a floating armored vehicle / A.V. Shakhovtsov [et al]. — M.: Register of computer programs, certificate of state registration № 2021610853. Dated 19.01.2021.

5. The concept of a marine combat floating vehicle: research report, code «Concept» / OTV. performer O.A. Seryakov. — Omsk: OTII. 2010. Inv. № 2519. 100 p.

6. The act of control tests in marine conditions of two modified samples of BMP-3F / Performers: S.I. Smolyakov, O.A. Seryakov, A.M. Kalinin. Inv. № 5078. — Kubinka: 38 NIII MO RF. 1990. 31 p.

7. Seryakov O.A. Armament and military equipment. Complexes and systems for military purposes: textbook / O.A. Seryakov [et al]. — Omsk: OABII. 2017. 354 p.

8. The results of comparative tests of BT equipment in marine conditions: a report on research / Otv. performers: V.N. Talalaev, I.P. Gulko, A.V. Bliznichenko. Inv. № 1635. — Kubinka: 38 Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. 1978. 124 p.

9. Analysis of the conditions for the use of PM BTW in the Marine Corps: research report / V. ch. 68054. Inv. № 5034. 1990. 105 p.

10. The act control tests in marine conditions of the BMP-3 infantry fighting vehicle in the configuration for equipping the navy marines / performens: S.I. Smolyakov [et al.]. Inv. № 4750. V. ch. 68054. 1989. 84 p.

11. Mamchur Yu.V., Seryakov K.O. et al. Justification of priority directions for improving the passability of amphibious vehicles of armored weapons when leaving the water to the shore // Science and military security. 2020. № 1 (20). P. 79–85.

12. Chervonyi A.A., Shvarts V.A., Kozlov-tsev A.P., Chobanyan V.A. Probabilistic methods for assessing the effectiveness of weapons. edited by prof. L.A. Chervony. — M.: Military publishing house of the Ministry of Defense of the USSR. 1979. 95 p.

13. Tuhvatullin B.T., Levchenko D.V., Khodorkin O.L., Zolnikov I.V. Increasing the cross-country ability of automotive vehicles (combat wheeled vehicles). International Journal of Advanced Study. T. 10. 2020. № 2. P. 65–74.