|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  «Московский государственный технический университет  имени Н. Э. Баумана  (национальный исследовательский университет)»  (МГТУ им. Н. Э. Баумана) |

ФАКУЛЬТЕТ «СПЕЦИАЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

КАФЕДРА «РАКЕТНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ» (СМ-6)

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:

|  |
| --- |
| Системотехническое проектирование |

НА ТЕМУ:

|  |
| --- |
| Исследование операций при проектировании импульсных |
| тепловых машин |

|  |  |
| --- | --- |
| **ВАРИАНТ №** | 7 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил: студент группы | СМ6-102 |  |  |  | Д.С. Михайлов |
|  |  | (подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проверил |  |  |  |  | А. Н. Девятов |
|  |  |  | (подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

Москва, 20**23** г.

# Исходные данные

Пусть требуется определить оптимальный вариант оснащения самоходной артиллерийской установки (САУ), предназначенной для воздействия на машины типа танка (Т), оборудованные 100-мм танковой пушкой (ТП). В качестве возможных вариантов оснащения САУ рассматривается оборудование 100-мм противотанковой пушкой (ПТП), 152-мм ПТП и противотанковой управляемой ракетой (ПТУР).

Пусть также известны значения средних необходимых чисел попаданий для поражения: для машины типа танка при использовании 100-мм ПТП - , 152-мм ПТП - , ПТУР - ; для машины типа САУ при использовании 100-мм ТП - .

Пусть производительности ПТП и ТП будут соответственно равны , а производительность ПТУР определяется по наблюдению результатов воздействия.

Известны размеры машин: тип Т – ,тип САУ – где – ширина, м; – высота, м.

Начальное удаление машины Т от машины САУ равно метров.

Рассеивание воздействующих элементов принимается круговым, т.е. , а характеристика рассеивания задана кучностями в виде

Скорость полета ПТУР соответственно равна метров в секунду.

Машина Т движется фронтально со скоростью на неподвижную САУ. Дуэль начинает САУ, а спустя секунд, в работу включается машина Т. Время полета ПТУР до цели учитывается.

Исходные данные для выполнения домашнего задания представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для выполнения домашнего задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | |  | |  | |
|  |  |  |  | |  | |  | |
|  | Тип ПТРК |  |  | |  | |  | |
|  | Ком | 2800 |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  | |  | |  |
|  |  |  |  |  | |  | |  |

# Решение

# 1. Зависимости вероятности поражения от расстояния

Рассеивание воздействующих элементов принимается круговым, то есть . Характеристика рассеяния задана кучностями в виде . Цель представляет собой прямоугольник со сторонами и , параллельными главным осям рассеивания. Точка прицеливания совпадает с центром цели. В этом случае вероятность попадания в цель определяется по формуле

где среднее квадратическое отклонение в зависимости от дальности, а функция Лапласа

Тогда вероятность поражения цели в зависимости от расстояния:

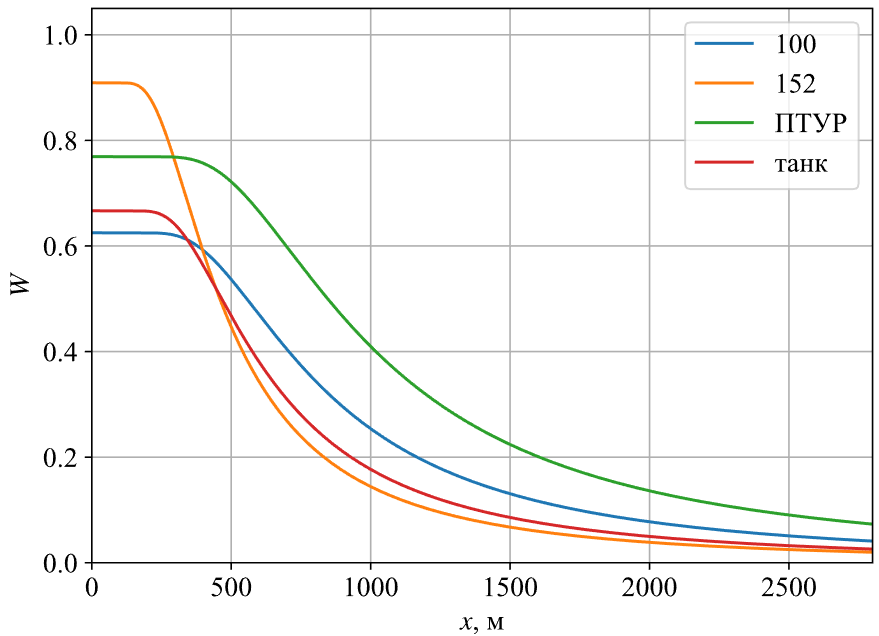
Вероятность выхода из строя машины Т при стрельбе по ней из 100-мм ПТП:

Вероятность выхода из строя машины Т при стрельбе по ней из 152-мм ПТП:

Вероятность выхода из строя машины Т при стрельбе по ней из ПТУР:

Вероятность выхода из строя машины САУ при стрельбе по ней из 100-мм ТП:

Результаты расчёта для машин типа Т и САУ с соответствующим вооружением приведены в табл. 1. Графики зависимостей вероятностей поражения от расстояния приведены на рис. 1.



**Рис. 1.** Графики зависимостей вероятностей поражения от расстояния

Таблица 1. Результаты расчёта

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 2800 | 2.960 | 5.180 | 4.604 | 0.145 | 0.113 | 0.084 | 0.065 | 0.103 | 0.094 | 0.041 | 0.020 | 0.026 |
| 2 | 2700 | 2.854 | 4.995 | 4.440 | 0.150 | 0.117 | 0.087 | 0.068 | 0.107 | 0.098 | 0.044 | 0.021 | 0.028 |
| 3 | 2600 | 2.749 | 4.810 | 4.276 | 0.155 | 0.121 | 0.090 | 0.070 | 0.111 | 0.102 | 0.047 | 0.023 | 0.030 |
| 4 | 2500 | 2.643 | 4.625 | 4.111 | 0.161 | 0.126 | 0.094 | 0.073 | 0.115 | 0.105 | 0.051 | 0.025 | 0.032 |
| 5 | 2400 | 2.537 | 4.440 | 3.947 | 0.168 | 0.131 | 0.098 | 0.076 | 0.119 | 0.110 | 0.055 | 0.027 | 0.035 |
| 6 | 2300 | 2.431 | 4.255 | 3.782 | 0.175 | 0.137 | 0.102 | 0.079 | 0.124 | 0.114 | 0.060 | 0.029 | 0.038 |
| 7 | 2200 | 2.326 | 4.070 | 3.618 | 0.182 | 0.143 | 0.107 | 0.083 | 0.130 | 0.119 | 0.065 | 0.032 | 0.041 |
| 8 | 2100 | 2.220 | 3.885 | 3.453 | 0.190 | 0.149 | 0.111 | 0.087 | 0.136 | 0.125 | 0.071 | 0.035 | 0.045 |
| 9 | 2000 | 2.114 | 3.700 | 3.289 | 0.199 | 0.156 | 0.117 | 0.091 | 0.142 | 0.131 | 0.078 | 0.039 | 0.050 |
| 10 | 1900 | 2.009 | 3.515 | 3.124 | 0.208 | 0.164 | 0.123 | 0.096 | 0.150 | 0.138 | 0.085 | 0.043 | 0.055 |
| 11 | 1800 | 1.903 | 3.330 | 2.960 | 0.218 | 0.172 | 0.129 | 0.101 | 0.157 | 0.145 | 0.094 | 0.047 | 0.061 |
| 12 | 1700 | 1.797 | 3.145 | 2.796 | 0.230 | 0.182 | 0.137 | 0.107 | 0.166 | 0.153 | 0.104 | 0.053 | 0.068 |
| 13 | 1600 | 1.691 | 2.960 | 2.631 | 0.242 | 0.192 | 0.145 | 0.113 | 0.176 | 0.162 | 0.117 | 0.060 | 0.076 |
| 14 | 1500 | 1.586 | 2.775 | 2.467 | 0.256 | 0.204 | 0.154 | 0.120 | 0.187 | 0.172 | 0.131 | 0.067 | 0.086 |
| 15 | 1400 | 1.480 | 2.590 | 2.302 | 0.271 | 0.217 | 0.164 | 0.129 | 0.199 | 0.184 | 0.147 | 0.077 | 0.097 |
| 16 | 1300 | 1.374 | 2.405 | 2.138 | 0.288 | 0.232 | 0.176 | 0.138 | 0.213 | 0.197 | 0.167 | 0.089 | 0.112 |
| 17 | 1200 | 1.269 | 2.220 | 1.973 | 0.307 | 0.249 | 0.190 | 0.149 | 0.228 | 0.211 | 0.191 | 0.103 | 0.129 |
| 18 | 1100 | 1.163 | 2.035 | 1.809 | 0.328 | 0.268 | 0.206 | 0.162 | 0.246 | 0.228 | 0.219 | 0.121 | 0.150 |
| 19 | 1000 | 1.057 | 1.850 | 1.644 | 0.351 | 0.289 | 0.224 | 0.177 | 0.267 | 0.248 | 0.254 | 0.144 | 0.177 |
| 20 | 900 | 0.951 | 1.665 | 1.480 | 0.376 | 0.314 | 0.246 | 0.195 | 0.291 | 0.271 | 0.295 | 0.174 | 0.211 |
| 21 | 800 | 0.846 | 1.480 | 1.316 | 0.403 | 0.343 | 0.271 | 0.217 | 0.319 | 0.298 | 0.345 | 0.214 | 0.254 |
| 22 | 700 | 0.740 | 1.295 | 1.151 | 0.431 | 0.375 | 0.302 | 0.244 | 0.351 | 0.330 | 0.404 | 0.268 | 0.310 |
| 23 | 600 | 0.634 | 1.110 | 0.987 | 0.459 | 0.410 | 0.339 | 0.278 | 0.388 | 0.368 | 0.470 | 0.343 | 0.380 |
| 24 | 500 | 0.529 | 0.925 | 0.822 | 0.481 | 0.446 | 0.383 | 0.321 | 0.428 | 0.410 | 0.537 | 0.447 | 0.467 |
| 25 | 400 | 0.423 | 0.740 | 0.658 | 0.495 | 0.478 | 0.431 | 0.375 | 0.466 | 0.453 | 0.592 | 0.588 | 0.563 |
| 26 | 300 | 0.317 | 0.555 | 0.493 | 0.500 | 0.496 | 0.476 | 0.437 | 0.493 | 0.487 | 0.620 | 0.757 | 0.640 |
| 27 | 200 | 0.211 | 0.370 | 0.329 | 0.500 | 0.500 | 0.499 | 0.489 | 0.500 | 0.500 | 0.625 | 0.887 | 0.666 |
| 28 | 100 | 0.106 | 0.185 | 0.164 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.625 | 0.909 | 0.667 |
| 29 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.625 | 0.909 | 0.667 |

# Дуэльная ситуация Т и САУ со 100-мм ПТП

Машина Т движется фронтально навстречу машине САУ со скоростью . Зависимость расстояния между машинами определяется как

В соответствии с заданными скорострельностями САУ делает выстрел через каждые секунд, где

Танк начинает стрелять через после начала боя и делает выстрел через каждые секунд, где

Вероятность поражения танка при -ом выстреле САУ обозначается как

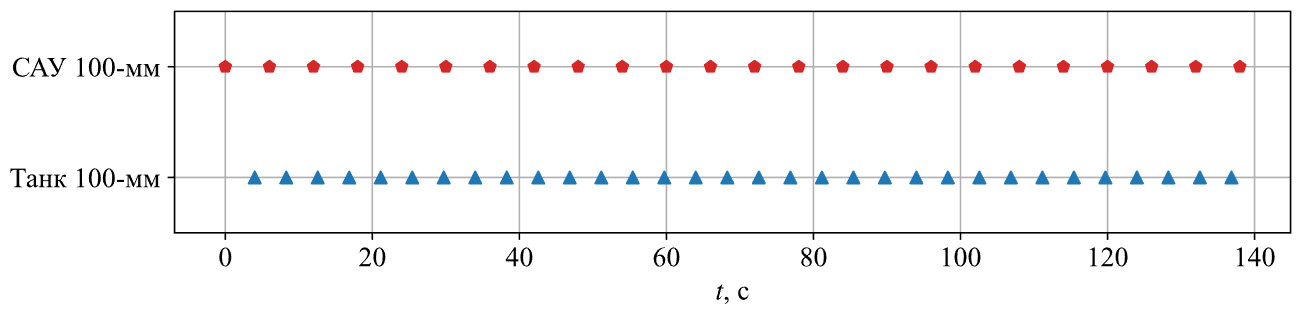
а вероятность поражения САУ при -ом выстреле танка в свою очередь:

Вероятность победы САУ и вероятность победы танка меняются с каждым последующим выстрелом и записываются как:

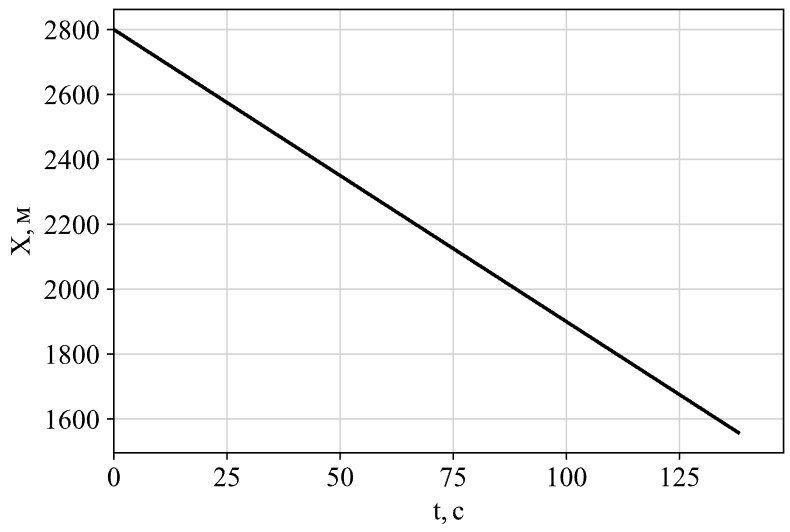
Формулы для и в общем виде для случая поочередной стрельбы противодействующих сторон:

Вероятность ничейного исхода

Древо боя представлено на рис. 2, зависимость расстояния от времени - на рис. 3. Вероятности победы Т и САУ представлены в табл. 2.



**Рис. 2.** Дерево боя Т и САУ со 100-мм ПТП



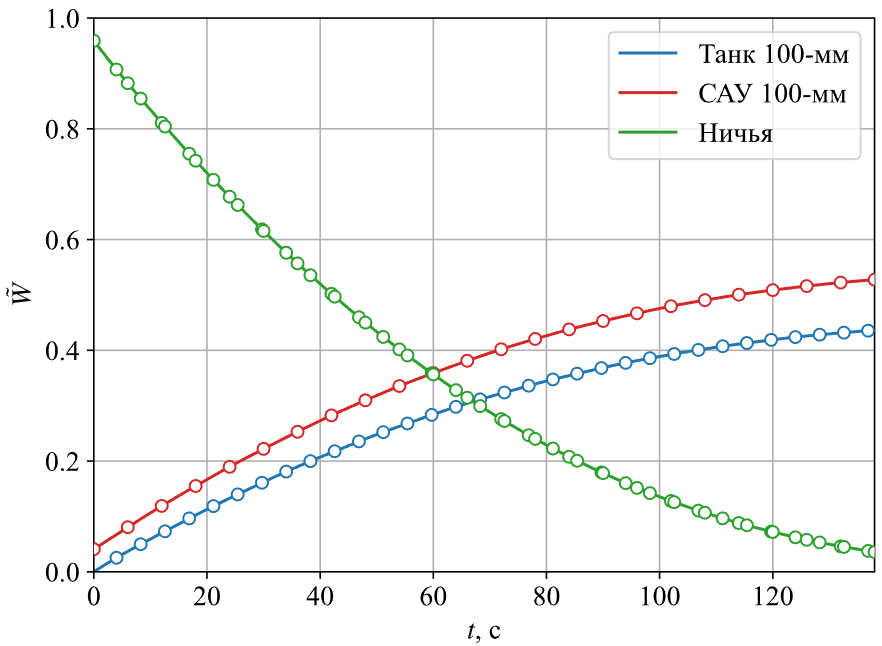
**Рис. 3.** График зависимости расстояния от времени

Таблица 2. Результаты расчёта вероятностей для танка и САУ со 100-мм ПТП

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номер выстрела одной из машин | Время выстрела | Вер. победы | Вер. ничьей | Расстояние |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Расчет ведется до момента, пока выполняется условие

На рис. 4 представлен график зависимости вероятностей от времени. По итогу расчёта для дуэли Т и САУ со 100-мм ПТП можно принять следующие вероятности победы танка и САУ соответственно:



**Рис. 4.** График зависимости вероятности победы танка и САУ со 100-мм ПТП и вероятности ничьи от времени

# 2. Дуэльная ситуация Т и САУ со 152-мм ПТП

Машина Т движется фронтально навстречу машине САУ со скоростью , тогда зависимость расстояния между машинами (рис. 3) определяется как

В соответствии с заданными скорострельностями САУ делает выстрел через каждые секунд, где

Танк начинает стрелять через после начала боя и делает выстрел через каждые секунд, где

Вероятность поражения танка при -ом выстреле САУ обозначается как

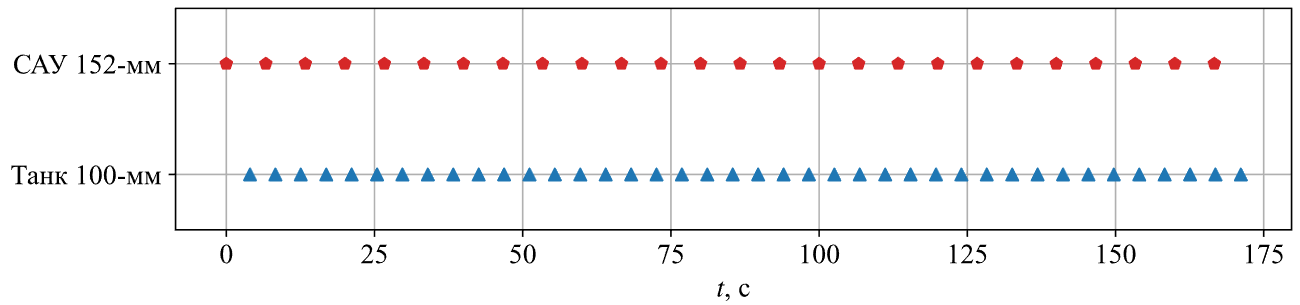
а вероятность поражения САУ при -ом выстреле танка в свою очередь:

Вероятность победы САУ и вероятность победы танка меняются с каждым последующим выстрелом и записываются как:

Формулы для и в общем виде для случая поочередной стрельбы противодействующих сторон:

Вероятность ничейного исхода

Древо боя представлено на рис. 5. Вероятности победы Т и САУ представлены в таблице 3.



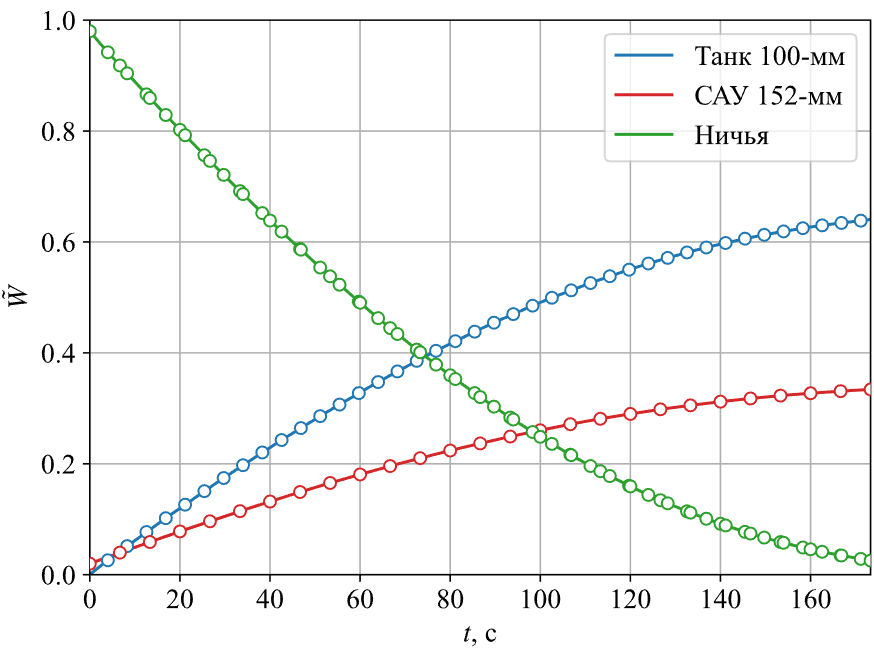
**Рис. 5.** Дерево боя Т и САУ со 152-мм ПТП

Таблица 3. Результаты расчёта вероятностей для танка и САУ со 152-мм ПТП

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номер выстрела одной из машин | Время выстрела | Вер. победы | Вер. ничьей | Расстояние |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Расчет ведется до момента, пока выполняется условие

На рис. 6 показан график зависимости вероятностей от времени. По итогу расчёта для дуэли Т и САУ со 152-мм ПТП можно принять следующие вероятности победы танка и САУ соответственно:



**Рис. 5.** График зависимости вероятности победы танка и САУ со 152-мм ПТП и вероятности ничьи от времени

# 3. Дуэльная ситуация Т и САУ с ПТУР

Машина Т движется фронтально навстречу машине САУ со скоростью , тогда зависимость расстояния между машинами определяется как

В соответствии с заданными условиями САУ делает два залпа ПТУР, причём второй запускается после попадания первого, время полёта ПТУР определяется как (дальность запуска ПТУР)

По условию у ПТРК задано командное наведение. Отличие командного наведения от самонаведения в рамках моделируемой дуэльной ситуации заключается в том, что при командном наведении для поражения танка САУ должна оставаться работоспособной. При самонаведении обеспечивается поражение танка даже в том случае, когда САУ поражена.

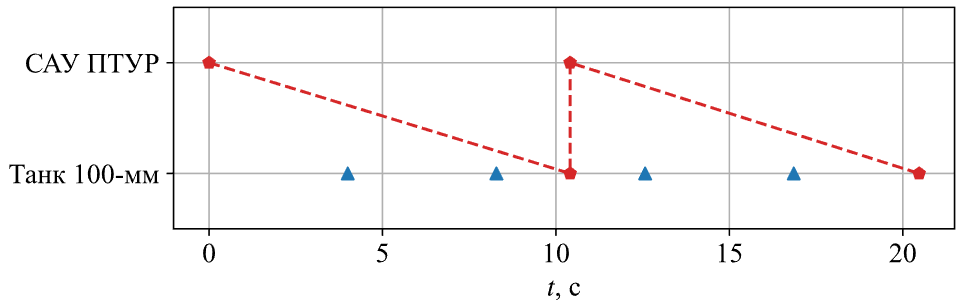
Танк начинает стрелять через после начала боя и делает выстрел через каждые секунд, где

Вероятность поражения танка при -ом выстреле САУ обозначается как

а вероятность поражения САУ при -ом выстреле танка в свою очередь:

Вероятность ничейного исхода

Древо боя представлено на рис. 7. Вероятности победы Т и САУ представлены в табл. 4.

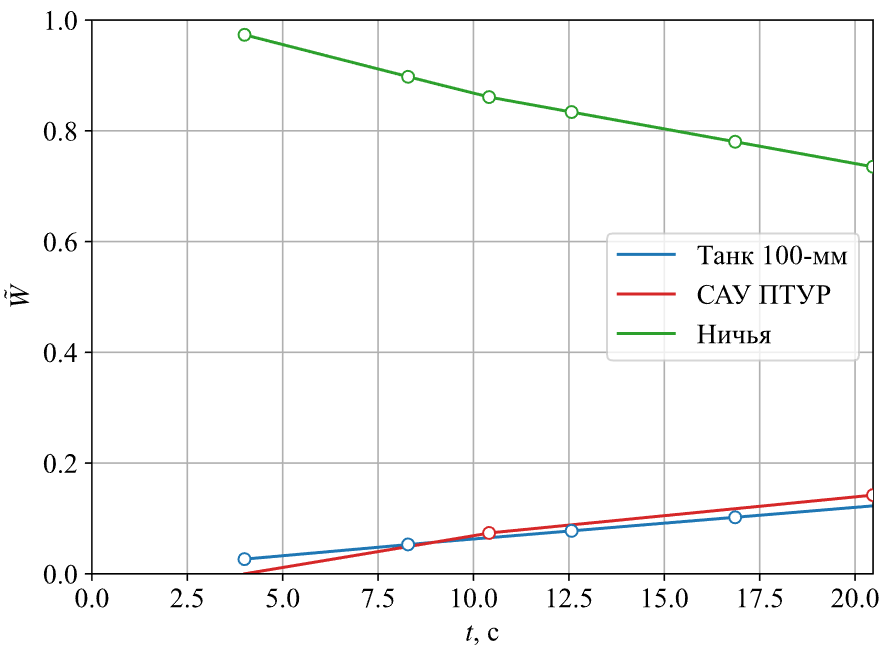


**Рис. 6.** Дерево боя Т и САУ с ПТУР

Таблица 4. Результаты расчёта вероятностей для танка и САУ с ПТУР

|  | Номер выстрела  одной из машин | Время выстрела | Вер. победы |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

На рис. 7 показан график зависимости вероятностей от времени. По итогу расчёта для дуэли Т и САУ с ПТУР можно принять следующие вероятности победы танка и САУ соответственно



**Рис. 7.** График зависимости вероятности победы танка и САУ с ПТУР и вероятности ничьи от времени

# Анализ дуэльных ситуаций

1. С точки зрения эффективности предпочтение можно отдать вооружению САУ 100-мм орудием, так как вероятность её поражения танка выше, чем у 152-мм орудия с вероятностью и ПТУРа с вероятностью .

2. По времени протекания дуэли преимущество имеет ПТУР -

3. По расходу боеприпасов

4. По стоимости затраченных боеприпасов предпочтение стоит отдать ПТУР:

В целом задача выбора оптимального вооружения САУ сводится к реализации минимального значения критерия оптимальности:

Математическое ожидание выпущенных снарядов определяется следующим образом:

где количество снарядов, выпущенных за один выстрел, вероятность осуществления выстрела.

Таким образом математическое ожидание выпущенных снарядов для САУ со 100-мм ПТП, 152-мм ПТП и ПТУР соответственно:

Рассчитаем критерий оптимальности для трёх вариантов вооружения САУ:

Минимальное значение критерия составляет

Таким образом, наиболее эффективно **вооружить САУ 100-мм противотанковым орудием**.