



УДК 629.7
ГРНТИ 78.21.53

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА «НОСИТЕЛЬ-ПЛАНИРУЮЩИЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОНТЕЙНЕР-БАРРАЖИРУЮЩИЙ БОЕПРИПАС»

В.В. ОРДИН

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

А.В. ГОЛОВНЕВ, кандидат технических наук, доцент

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье рассмотрен вопрос оценки эффективности применения комплекса «носитель-планирующий транспортный контейнер-барражирующий боеприпас». Рассмотрен вопрос повышения эффективности применения за счет увеличения дальности планирования контейнера путем увеличения продолжительности поиска и обнаружения цели барражирующим боеприпасом. Приведены результаты расчетов для гипотетического барражирующего боеприпаса.

Ключевые слова: планирующий транспортный контейнер, беспилотный летательный аппарат, эффективность применения, вероятность обнаружения и поиска цели.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE COMPLEX «CARRIER-PLANNING TRANSPORT CONTAINER-LOITERING MUNITION»

V.V. ORDIN

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A.V. GOLOVNYEV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

The article considers the issue of evaluating the effectiveness of the use of the complex "carrier-planning transport container-loitering munition." The question of increasing the effectiveness of the application by increasing the range of container planning by increasing the duration of the search and target detection by the loitering munition is considered. The calculation results for a hypothetical loitering munition are presented.

Keywords: planning transport container, unmanned aerial vehicle, application efficiency, probability of target detection and search.

Введение. Одним из первых и важнейших вопросов оценки ожидаемых результатов операции на доставку барражирующих боеприпасов в планирующем транспортном контейнере (ПТК) является вопрос о выборе критерия для оценки операции. Выбор того или иного критерия по существу предопределяет все дальнейшее решение задачи. Кроме того, рассмотрение этого вопроса необходимо для уяснения того места, которое занимает исследование в общем комплексе вопросов, подлежащих изучению. Будем исходить из следующих соображений:

1. При оценке ожидаемых результатов операции необходимо получить не только качественные соображения о ней, но и количественные.

2. Результаты расчетов должны служить основой для принятия решения, а не самим решением. Разумеется, действительность всегда многообразнее той схемы, которая кладется в основу расчетов. Математика не может учесть ряда существенных факторов: моральное состояние войск, политическую обстановку, безопасность для своих войск и так далее.



Командир, принимающий решение и несущий за него ответственность, обязан учитывать все обстоятельства, а не только результаты расчетов.

3. Повторяемость операции является таким ее свойством, которое позволяет подвергнуть ее научному исследованию с применением теоретико-вероятностных методов.

4. Если вся боевая операция может быть разделена на определенные фазы, то критерий для оценки боевой эффективности операции может быть представлен посредством произведения критериев, каждый из которых оценивает только одну фазу в предположении, что предыдущие фазы осуществились. Например, если операцию поражения наземной цели барражирующим боеприпасом при его доставке в ПТК разделить условно во времени на следующие фазы: прилет в район сброса ПТК, сброс и полет ПТК с барражирующими боеприпасами в район цели, раскрытие ПТК и выстраивание барражирующих боеприпасов в боевой порядок, поиск и обнаружение цели барражирующим боеприпасом, поражение цели, то вероятность P выполнения поставленной боевой задачи будет равна [1]:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5, \quad (1)$$

где P_i – вероятность выполнения i -ой ($i=1,2,3,4,5$) фазы операции при условии, что предыдущие фазы осуществлены.

5. Обычно рассматриваемую операцию можно охарактеризовать с разных точек зрения совокупностью критериев. Практика показывает, что описать комплексное явление достаточно полно какой-то характеристикой нельзя. Нужно использовать небольшое число характеристик, каждая из которых описывает явление с определенной стороны. Заменять систему критериев каким-то одним критерием можно и нужно, если: составляющие критерии имеют одну и ту же физическую природу, явления, к которым относятся критерии, являются фазами того явления, которое хотят охарактеризовать комплексным критерием.

6. Вероятностный критерий для оценки ожидаемых результатов операции поражения наземной цели барражирующим боеприпасом при его доставке в ПТК следует устанавливать, исходя из ее целевой направленности.

7. Может оказаться, что по стоимости одно средство поражения дешевле другого, но время, необходимое для выполнения боевой задачи для первого средства, намного больше, чем для второго. Временной критерий играет большую роль, природа же его иная, чем природа критериев, указанных выше.

Исходя из сказанного, для характеристики операции поражения наземной цели барражирующим боеприпасом при его доставке в ПТК, по мнению автора, можно ограничиться следующей системой критериев: критерием для оценки боевой эффективности операции, временем поиска и обнаружения цели, временем, необходимым для выполнения поставленной задачи.

Актуальность. На необходимость учета времени, потребного на выполнение поставленной задачи, впервые было указано профессором В.Ф. Болховитиновым [1]. В статье будем акцентировать внимание на критерий вероятности поиска и обнаружения цели, путем сокращения потерь энергии на вывод барражирующего боеприпаса в район боевых действий за счет доставки его в планирующем транспортном контейнере. Так как барражирующий боеприпас оснащен в большинстве случаев относительно недорогим электродвигателем с аккумуляторной батареей, то запас энергии расходуется на всем этапе полета и поиска цели. При наземном запуске эта энергия расходуется на: запуск из наземной установки (этап 1), набор скорости и высоты для эффективной работы оператора (этап 2), полет в район предполагаемой цели (этап 3), поиск и обнаружение цели (этап 4), поражение цели (этап 5).

При анализе относительных потерь энергии аккумуляторов по времени существующих барражирующих боеприпасов иностранных государств была выявлена закономерность, представленная на временном графике (рисунок 1).

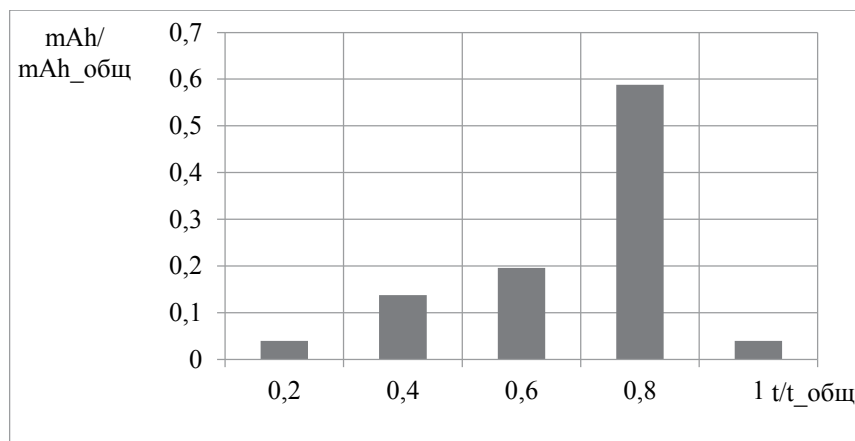


Рисунок 1 – Относительные потери энергии

При доставке барражирующих боеприпасов (ББ) в планирующем транспортном контейнере этап 2 и этап 3 отсутствуют [2], что позволяет увеличить время поиска и обнаружения цели, что соответственно приведет к увеличению вероятности обнаружения цели.

Тогда, зависимость относительных потерь энергии аккумуляторов по времени примет вид (рисунок 2):

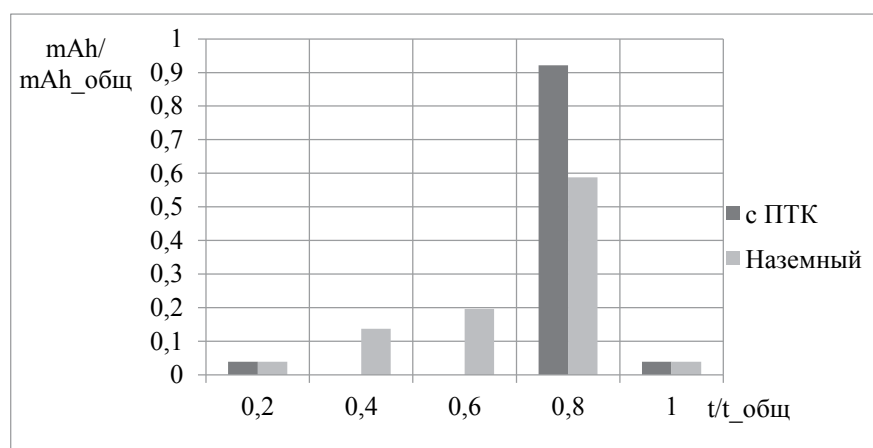


Рисунок 2 – Относительные потери энергии в зависимости от способа запуска

Как видно из графика, увеличение запаса энергии существенное, что по расчетам в первом приближении составляет от 60 до 70 процентов, в зависимости от конкретного барражирующего боеприпаса [3]. Поэтому далее будем апеллировать именно этой характеристикой с целью повышения вероятности поиска и обнаружения цели.

Характерной чертой современного театра военных действий является наличие большого числа военных объектов, способных изменять свое местоположение за весьма короткое время. По некоторым оценкам до 80 процентов из общего количества важных объектов противника, расположенных в первом и втором эшелонах его боевых порядков, являются подвижными. В этих условиях при решении разведывательно-ударных задач в связи с необходимостью нанесения удара по разведанному объекту еще до того, как он выполнит задачу и изменит свое местоположение, возрастают требования по сокращению времени на вскрытие целей, передачу и обработку разведанных, принятие решения о поражении и наведение средств удара.

Порядок решения задачи об оценке. Рассмотрим особенности расчета показателя эффективности боевого применения разведывательно-ударного комплекса при осуществлении им разведки и поражения одиночной подвижной цели, выбрав в качестве такого показателя



вероятность P поражения цели. Геометрическая интерпретация математической модели для случая нанесения удара с доразведкой цели приведена на рисунке 3.

Плотность распределения вероятности $P_1(r_1, \varphi_1, t)$ случайного местоположения цели (точка Б) через время t определяется расчетными зависимостями:

$$P_1(r_1, \varphi_1, t) = \frac{r_1}{2\pi\sigma_p^2} \exp\left(-\frac{r_1^2 + V_u^2 t^2}{2\sigma_p^2}\right) I_0\left(\frac{r_1 V_u t}{\sigma_p^2}\right), \quad (2)$$

где I_0 – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка от мнимого аргумента. При этом курсы движения цели приняты равномерно распределенными в интервале от 0 до 2π .

В случае подвижной цели при контакте со средством разведки цель может находиться в фазе стояния или в фазе движения, причем на интервале времени от момента разведки до момента удара может произойти смена фаз ее состояния [4]. Подвижный объект будем характеризовать периодом T смены фаз состояния, средним временем t_c фазы стояния цели и средней скоростью \bar{V}_u ее перемещения на местности. При этом будем считать, что моменты τ контакта средства разведки с целью равномерно распределены на периоде смены фаз ее состояния. С учетом осреднения по всем возможным моментам контакта выражение запишется в виде:

$$P_1(r_1, \varphi_1, t) = \frac{r_1}{2\pi\sigma_p^2 T} \int_0^T \exp\left[-\frac{r_1^2 + r_{01}^2(t, \tau)}{2\sigma_p^2}\right] I_0\left[\frac{r_1 r_{01}(t, \tau)}{\sigma_p^2}\right] d\tau, \quad (3)$$

где $r_{01} = \int_{\tau}^{\tau+1} V_u(t) dt$.

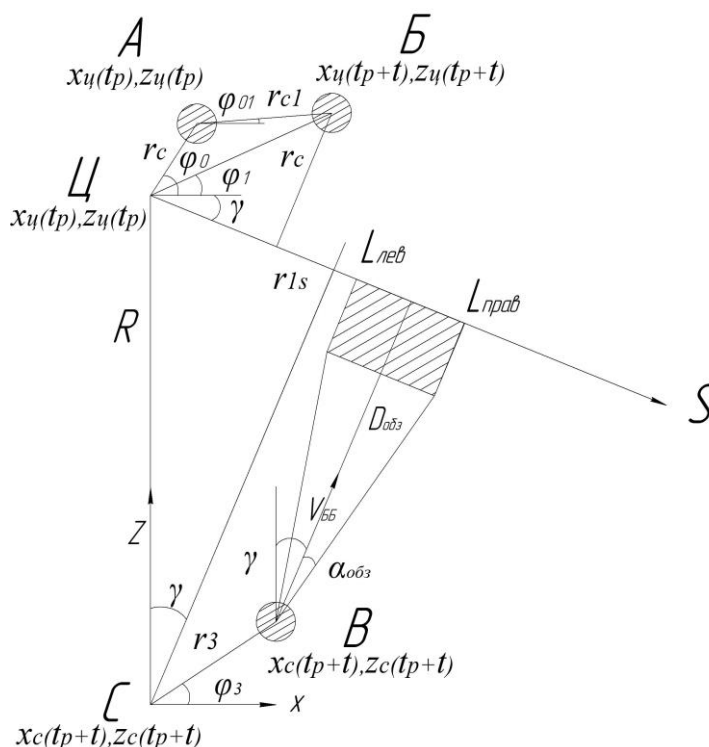


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация математической модели



В соответствии с законом изменения скорости цели $V_y(t)$ на интервале значений $\tau = [0, t_c]$:

$$r_{01}(t, \tau) = \begin{cases} 0, & 0 < t \leq t_c - \tau, \\ \bar{V}_y(\tau + t - t_c), & t_c - \tau < t \leq T - \tau, \\ \bar{V}_y(T - t_c), & T - \tau < t \leq T + t_c - \tau, \\ \bar{V}_y(\tau + t - 2t_c), & T + t_c - \tau < t \leq 2T - \tau \end{cases}$$

на интервале $\tau = [t_c, T]$:

$$r_{01}(t, \tau) = \begin{cases} \bar{V}_y t, & 0 < t \leq T - \tau, \\ \bar{V}_y(T - \tau), & T - \tau < t \leq T + t_c - \tau, \\ \bar{V}_y(t - t_c), & T + t_c - \tau < t \leq 2T - \tau, \\ \bar{V}_y(2T - \tau - t_c), & 2T - \tau < t \leq 2T + t_c - \tau \end{cases}$$

При этом под временем t понимается интервал времени от момента t_p разведки цели до момента выхода барражирующего боеприпаса в район расположения цели. Такая трактовка времени t цикла «разведка-поражение» связана с тем, что вклад этапов доразведки цели барражирующим боеприпасом и его наведение в общую величину вероятности поражения цели учитывается с помощью частных показателей эффективности работы оператора наведения и обнаружения.

Пусть точка C с координатами $x_c(t_p + t)$, $\hat{z}_c(t_p + t)$ – расчетная точка выхода барражирующего боеприпаса в зону контакта с целью расположена от разведанного местоположения цели (точки Ц) на расстоянии R , определяемом особенностями использования систем обнаружения и работой оператора. За счет ошибок при доставке в планирующем транспортном контейнере барражирующий боеприпас выйдет в некоторую точку B с координатами $x_c(t_p + t)$, $z_c(t_p + t)$, находящуюся от точки C на расстоянии r_3 . При этом ошибки выведения барражирующего боеприпаса можно описать совместной плотностью вероятности:

$$P_3(r_3, \varphi_3) = \frac{r_3}{2\pi\sigma_n^2} \exp\left(-\frac{r_3^2}{2\sigma_n^2}\right), \quad (4)$$

где σ_n^2 – дисперсия ошибок наведения.

Предположим, что ошибка γ угла курса при выходе ББ в зону контакта относительно расчетного курса на цель распределена по гауссовскому закону:

$$P(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\gamma^2}} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\sigma_\gamma^2}\right), \quad (5)$$

где σ_γ^2 – дисперсия ошибок угла курса.

Примем далее, что положение зоны захвата бортовой оптической системы ББ симметрично относительно направления его движения $\bar{V}_{ББ}$, а размеры зоны захвата на местности



определяются величинами угла обзора $\alpha_{обз}$ и горизонтальной дальности обнаружения $D_{обз}$, зависящей от высоты полета. Для определения факта попадания или непопадания цели в зону захвата при движении ББ из точки B по курсу γ определим величины проекций r_{1s} точки случайного местоположения цели и границ $L_{лев}$ и $L_{прав}$ зоны захвата на некоторую ось S , проходящую через точку C перпендикулярно направлению $\bar{V}_{ББ}$:

$$r_{1s} = r_1 \cos(\varphi_1 + \gamma), \quad L_{лев} = R \sin \gamma + r_3 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_3 - \gamma\right) - D_{обз} \sin \alpha_{обз}, \quad L_{прав} = R \sin \gamma + 2D_{обз} \sin \alpha_{обз}$$

Цель попадает в зону захвата при выполнении условия:

$$|\xi| \leq D_{обз} \sin \alpha_{обз}, \quad (6)$$

где $\xi = r_{1s} - L_{лев} - D_{обз} \sin \alpha_{обз}$

Зависимость вероятности P_n поражения цели от величины ξ можно представить следующим образом:

$$P_n(\xi) = \begin{cases} P_1 & \text{при } |\xi| \leq D_{обз} \sin \alpha_{обз} \\ 0 & \text{при } |\xi| \geq D_{обз} \sin \alpha_{обз} \end{cases}$$

Учитывая, что ξ в свою очередь зависит от величин $r_1, \varphi_1, r_3, \varphi_3, \gamma$, осредненная по этим величинам вероятность P поражения цели имеет вид:

$$P(t) = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} P_n[\xi(r_1, \varphi_1, r_3, \varphi_3, \gamma)] P_1(r_1, \varphi_1, t) P_3(r_3, \varphi_3) P(\gamma) dr_1 d\varphi_1 dr_3 d\varphi_3 d\gamma.$$

Все функции, входящие в подынтегральное выражение определены, поэтому пятикратный интеграл может быть вычислен, например, методами численного интегрирования на ЭВМ.

В работе будем рассматривать траектории полета ПТК обеспечивающие максимальную его дальность. Это позволяет, не входя носителю в зону ПВО вероятного противника осуществить сброс ПТК и сохранить энергию барражирующих боеприпасов для максимально продолжительной работы по обнаружению и поиску целей [5]. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос увеличения продолжительности поиска целей, соответственно, увеличение вероятности поиска.

Вероятностные критерии поиска имеют вероятностную основу. К рассматриваемой группе критериев можно отнести:

- вероятность обнаружения объекта $P_{об}(t)$ к заданному сроку;
- математическое ожидание числа объектов $M_{об}$, обнаруживаемых к заданному сроку;
- математическое ожидание времени $\bar{t}_{об}$, необходимого для обнаружения объекта.

Вероятность обнаружения объекта к заданному сроку одним ББ в общем виде определяется для стационарного пуассоновского потока:

$$P_{об} = 1 - e^{-u} = 1 - e^{-\gamma t_n}.$$



Для нестационарного пуассоновского потока:

$$P_{o\bar{o}}(t) = 1 - e^{-u(t)} = 1 - \exp \left[- \int_{t_0}^{t_0+t_n} \gamma(t) dt \right].$$

Расчет вероятности обнаружения при этом сводится к определению потенциала обнаружения U или интенсивности потока γ .

В случае ведения поиска N_n независимо действующими ББ общая вероятность обнаружения объекта – это вероятность обнаружения его хотя бы одним ББ. Она может быть получена с помощью известной из теории вероятностей формулы:

$$P_{o\bar{o}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{N_n} [1 - P_{o\bar{o}i}(t)], \quad (7)$$

где $P_{o\bar{o}i}(t)$ – вероятность обнаружения цели i -м ББ. Или в другом виде:

$$P_{o\bar{o}}(t) = 1 - \exp \left[- \sum_{i=1}^{N_n} U_i(t) \right].$$

Наряду с вероятностью обнаружения важным критерием эффективности поиска является математическое ожидание времени $\bar{t}_{o\bar{o}}$, необходимого для обнаружения цели. Два упомянутых показателя неразрывно связаны между собой и по сути дела являются различными сторонами одного критерия: вероятность обнаружения показывает степень возможности обнаружения цели в течение заданного времени поиска (к заданному сроку), а математическое ожидание времени, необходимого для обнаружения цели показывает среднее ожидаемое время, в течение которого возможность обнаружения цели будет реализована.

Математическое ожидание времени обнаружения объекта при $\gamma = const$ определяется по формуле:

$$\bar{t}_{o\bar{o}} = \int_0^{\infty} t_n f(t) dt = \frac{1}{\gamma}.$$

Дисперсия времени обнаружения:

$$D(t_{o\bar{o}}) = \int_0^{\infty} t_n^2 \gamma e^{-\gamma t_n} dt = \frac{1}{\gamma^2}.$$

Среднеквадратическое отклонение времени обнаружения:

$$\sigma(t_{o\bar{o}}) = \sqrt{\frac{1}{\gamma^2}} = \bar{t}_{o\bar{o}}.$$

Величина математического ожидания времени обнаружения, необходимого для обнаружения цели, геометрически может быть интерпретирована как площадь, заключенная



между кривой функции $P_{об}(t) = 1 - e^{-u(t)}$, прямой, соответствующей $P_{об}(t) = 1$, и осью ординат (рисунок 4).

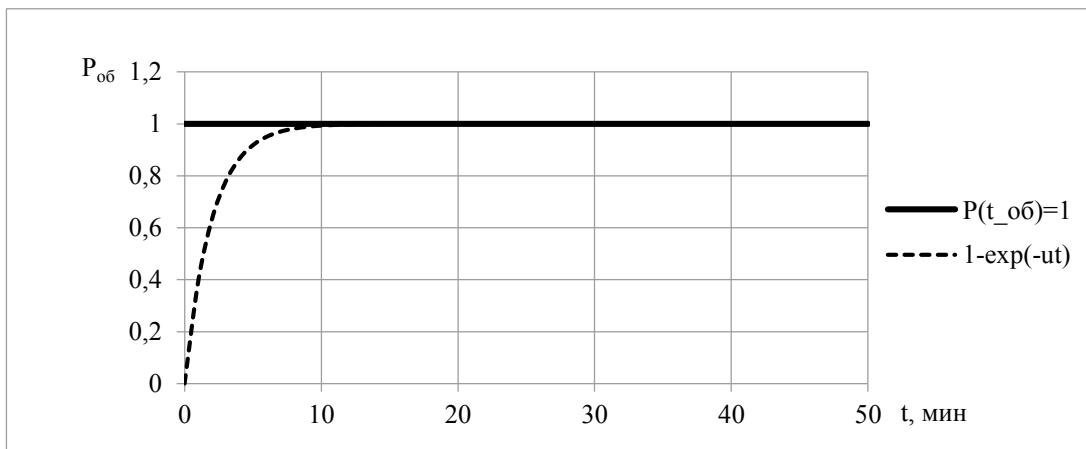


Рисунок 4 – Вероятность поиска и обнаружения цели

Как видно из графика, увеличение времени поиска приводит к увеличению вероятности по экспоненциальному закону. Следовательно, для оценки повышения эффективности необходимо оценить увеличение времени поиска путем доставки ББ в ПТК.

Выводы. В статье рассмотрен вопрос оценки эффективности применения комплекса «носитель-планирующий транспортный контейнер-барражирующий боеприпас» и возможность повышения эффективности применения за счет увеличения дальности планирования контейнера путем увеличения продолжительности поиска и обнаружения цели барражирующим боеприпасом. Приведены результаты расчетов для гипотетического барражирующего боеприпаса. Так, при всех прочих равных условиях, при запуске ББ наземным способом максимальная продолжительность поиска, при котором гипотетический ББ имеет возможность совершить поражение цели составляет в среднем 30 минут. Предположим, что за данное время вероятность поиска будет равна 0,8. Доставка ББ в ПТК увеличивает время работы ББ в заданном районе на 60 процентов, тогда вероятность поиска при доставке ББ воздушным способом будет выше на 13 процентов (рисунок 5).

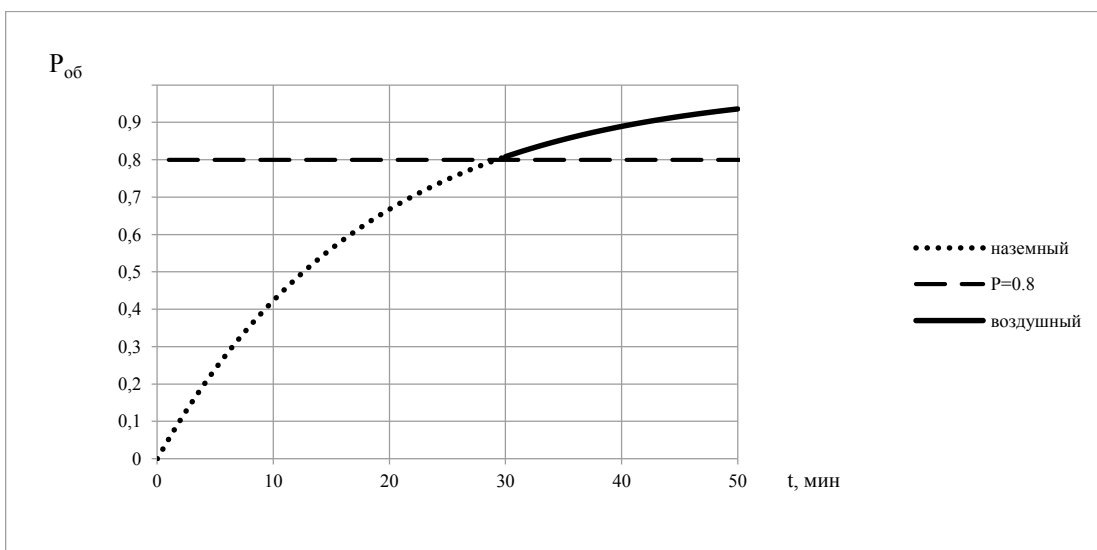


Рисунок 5 – Вероятность поиска и обнаружения цели при различных способах запуска



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / А.В. Арбузов и др. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.
2. Лопота А.В. Николаев А.Б. БПЛА. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. М.: Государственный научный центр РФ ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, 2016. 18 с.
3. Федутин Д.В. «Дроны-камикадзе» приобретают популярность в мире. Основные тенденции развития барражирующих боеприпасов / Независимое военное обозрение. Вооружение/статья. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.conjuncture.ru/nvo-ng-ru-11-11-2016>. (дата обращения 04.09.2018)
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Монография. М.: Наука, 1991. 384 с.
5. Особенности проектирования легких боевых и учебно-тренировочных самолетов. Монография / А.Н. Акимов и др. М.: Машиностроение, 2005. 368 с.

REFERENCES

1. Boevye aviacionnye komplekсы i ih effektivnost' / A.V. Arbuzov i dr. M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2008. 224 p.
2. Lopota A.V. Nikolaev A.B. BPLA. Sovremennye tendencii razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov. M.: Gosudarstvennyj nauchnyj centr RF CNII robototekhniki i tekhnicheskoy kibernetiki, 2016. 18 p.
3. Fedutinov D.V. «Drony-kamikadze» priobretayut populyarnost' v mire. Osnovnye tendencii razvitiya barrazhiruyushchih boeprilasov / Nezavisimoe voennoe obozrenie. Vooruzhenie/stat'i. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.conjuncture.ru/nvo-ng-ru-11-11-2016>. (data obrashcheniya 04.09.2018)
4. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozheniya. Monografiya. M.: Nauka, 1991. 384 p.
5. Osobennosti proektirovaniya legkih boevyh i uchebno-trenirovochnyh samoletov. Monografiya / A.N. Akimov i dr. M.: Mashinostroenie, 2005. 368 p.

© Ордин В.В., Головнев А.В., 2020

Ордин Виталий Викторович, адъюнкт 74 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vitaly_ordin@mail.ru.

Головнев Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, начальник 74 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.