

С.А. Полосинов

(Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева,
Лётно-испытательный комплекс; e-mail: polosinov@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОЛЁТОВ-АМФИБИЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Предложен подход к оценке эффективности борьбы с лесными пожарами с применением авиационных средств. Проведён анализ и представлены графические зависимости, полученные по материалам реальных работ на пожарах самолёта-амфибии Бе-200ЧС.

Ключевые слова: лесной пожар, характеристики, самолёт-амфибия.

S.A. Polosinov

INFLUENCE OF THE EXTERNAL CONDITIONS ON OPERATIONAL EFFECTIVENESS OF AMPHIBIANS FOR FIGHTING FOREST FIRES

The approach to an estimation of an efficacy of forest fire-fighting with application of air means are proposed. The analysis is conducted and the graphic relations received on materials of real activities on fires of aircraft Be-200ChS are presented.

Key words: a forest fire, characteristics, amphibian.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 апреля 2013 г.

Ежегодно пожары наносят колоссальный ущерб лесному хозяйству многих стран мира. В пожароопасный период огнём уничтожаются огромные площади леса. Наносится непоправимый ущерб экологии, флоре и фауне этих стран. При этом также создаётся угроза населённым пунктам и промышленным объектам, расположенным в районах пожаров. Специфика распространения лесных пожаров и особенности местности накладывают определённые требования к процессу борьбы с ними, а также к применяемым техническим средствам. Задача минимизации ущерба, причиняемого лесным пожаром, определяется качеством управленческих решений по выбору состава технических средств и порядка их применения в условиях пожара. Одними из основных технических средств тушения лесных пожаров являются летательные аппараты. Накопленный к настоящему времени опыт практического использования авиационных средств тушения лесных пожаров показал несомненные достоинства применения авиации в этих целях.

На практике работы по тушению лесных пожаров, особенно больших площадных пожаров, характеризующихся большой интенсивностью, ведутся, как правило, с применением различных авиационных и наземных средств [1]. В тушении принимают участие различные летательные аппараты: вертолёты, самолёты, самолёты-амфибии. Одновременно ведётся работа наземными средствами. Каждое из применяемых средств вносит свой вклад в результат работы по тушению лесного пожара. Представляет определённую сложность оценка

вклада каждого из применяемых средств в общий результат работы на пожаре и проведение сравнительного анализа эффективности работы на пожаре отдельных средств.

Совокупный результат воздействия на пожар применяемых средств определяется суммарной скоростью **локализации участков горения (прокладки заграждения)**. Данная величина, в сравнении со средней скоростью увеличения длины фронта горения по периметру лесного пожара, определяет условие возможности локализации пожара, конечную площадь участка, пострадавшего от пожара, а также площадь участка пожара, добавленную за период времени проведения работ по его локализации. При этом "вклад" каждого из применяемых средств в общий результат работы на пожаре может быть characterized величиной средней скорости локализации участков горения, обеспечиваемой данным средством в определённых условиях лесного пожара.

При свободном распространении лесного пожара может происходить увеличение длины фронта горения по периметру участка пожара. При этом изменение длины фронта горения происходит с некоторой скоростью ($V_{L_пож}$ (м/мин)), которая обусловлена величиной средней скорости продвижения фронта пожара ($V_{f\,cp}$ (м/мин)) [4]:

$$V_{L_пож} = \frac{\pi}{k} \cdot V_{f\,cp}; \text{ (м/мин)}. \quad (1)$$

Коэффициент k изменяется в диапазоне $1 \div \infty$ и определяется величиной кривизны участка фронта пожара.

Ещё одним фактором развития лесного пожара, определяющим требования к порядку работы технических средств по его локализации, является интенсивность горения. Данный фактор определяет требуемые характеристики распределения огнегасящей жидкости на поверхности для локализации или сдерживания продвижения фронта пожара. Летательный аппарат при выполнении сбросов воды должен обеспечить её распределение на поверхности с получением требуемых значений концентрации и размеров "пятна". Эффективная длина "пятна" воды на поверхности ($L_{сбр}$ (м)) при сбросе с летательного аппарата определится:

$$L_{сбр\,i} = G_{вод\,i} \cdot \bar{L}; \text{ (м)}, \quad (2)$$

где $G_{вод}$ – вес сбрасываемой воды (кг);

L – длина "пятна" воды с заданными характеристиками на поверхности, получаемая на килограмм сбрасываемой воды (м/кг).

Скорость локализации участков горения ($V_{туш}$ (м/мин)) определяется периодичностью выполнения летательным аппаратом циклов сброса воды ($\Delta T_{сбр\,i}$ (мин)) в течение времени работы на пожаре, а также длиной "пятна" на поверхности, получаемого при единичном сбросе ($L_{сбр\,i}$ (м)), которая в свою очередь определяется весом сбрасываемой воды ($G_{вод\,i}$ (кг)) и порядком её распределения на поверхности (\bar{L} (м/кг)) [2]:

$$V_{туш} = \frac{L_{сбр\,i}}{\Delta T_{сбр\,i}} = \frac{G_{вод\,i} \cdot \bar{L}}{\Delta T_{сбр\,i}}; \text{ (м/мин)}. \quad (3)$$

При рассмотрении результата работы на пожаре отдельного летательного аппарата за один полёт следует сопоставить скорость увеличения длины фронта по периметру пожара и скорость локализации участка горения на отрезке времени продолжительности полёта. Средняя за время полёта скорость локализации участков горения определится выражением:

$$V_{туш\ пол.Т} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{сбр.Т}} L_{сбр\ i}}{T_{пол.Т}} = \bar{L} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_{сбр.Т}} G_{вод\ i}}{T_{пол.Т}}; (м/мин), \quad (4)$$

где $T_{пол.Т}$ – продолжительность полёта при одной заправке топливом (мин);

$N_{сбр.Т}$ – количество циклов сброса воды, выполняемое летательным аппаратом в течение одного полёта на пожар (данная величина обусловлена эксплуатационными характеристиками летательного аппарата, а также внешними условиями работы на пожаре).

Внешние условия работы определяются расстояниями участков полёта, обусловленных схемой работы на пожаре. Для самолёта-амфибии схема работы на пожаре может определяться следующими участками полёта: между местом базирования и районом пожара ($L_{баз-пож}$ (км)); между районом пожара и водоёмом забора воды ($L_{вод-пож}$ (км)), а также участками забора воды ($L_{зб}$ (км)) и сброса воды ($L_{сбр}$ (км)).

Протяжённость участков забора и сброса воды в большей степени зависит от эксплуатационных характеристик летательного аппарата и является относительно устойчивой величиной для определённых самолётов-амфибий. Эксплуатационные характеристики летательного аппарата определяют максимальную дальность полёта ($L_{пол.Т}$ (км)). Количество циклов сброса воды на пожар, выполняемое самолётом-амфибией в течение одного полёта ($N_{сбр.Т}$), обусловлено протяжённостью соответствующих участков, а также максимальной дальностью полёта самолёта:

$$N_{сбр\ Т} = \frac{L_{пол.Т} - 2L_{баз-пож}}{2L_{вод-пож} + L_{зб} + L_{сбр}}. \quad (5)$$

Максимальная дальность полёта обусловлена эксплуатационными характеристиками летательного аппарата: аэродинамическими характеристиками, характеристиками силовой установки, количеством топлива, а также весом полезной нагрузки (воды), ограничением максимального взлётного веса. Существенное влияние на количество циклов сброса воды на пожар за время полёта самолёта-амфибии оказывают расстояния взаимного удаления объектов работы [3].

На рис. 1 представлена временная зависимость $V_{загр}$ – скорости локализации участков горения, полученная по результатам реальной работы самолёта-амфибии Бе-200ЧС при тушении лесного пожара на территории Греции в 2007 г. при фактических расстояниях удалений района пожара от водоёма забора воды и места базирования.

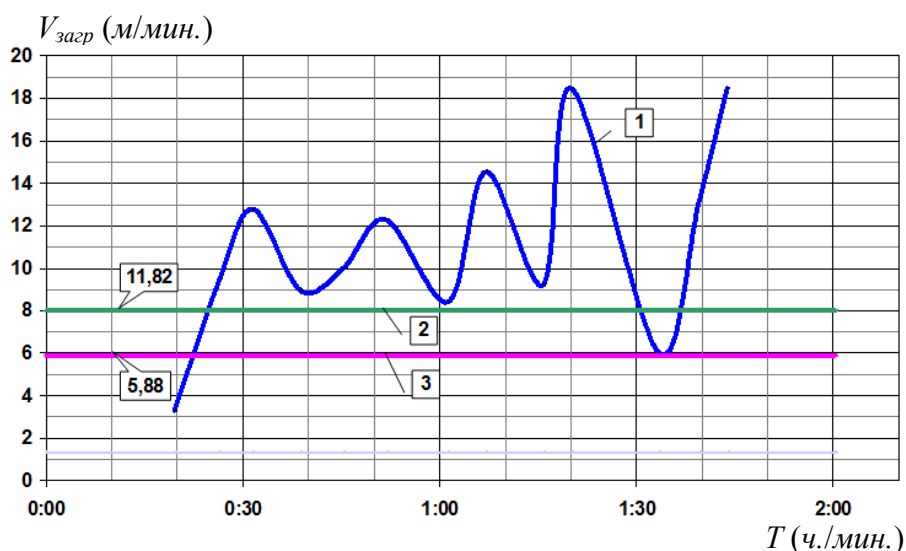


Рис. 1. Скорость локализации участков горения ($L_{баз\ пожар} = 86$ км, $L_{вод\ пожар} = 5$ км):
 1 – текущая скорость локализации участков горения при выполнении циклов сброса воды на пожар; 2 – средняя скорость локализации участков горения за цикл сброса; 3 – средняя скорость локализации участков горения за время полёта

На основании результатов, полученных при практическом применении самолёта-амфибии Бе-200ЧС на пожарах, а также результатов лётных испытаний стало возможным проведение расчёта количества циклов сброса воды на пожар в течение одного полёта, а также определение зависимости количества циклов сброса, выполняемых в течение одного полёта, от расстояний взаимного удаления места базирования самолёта-амфибии, района пожара и водоёма забора воды.

На рис. 2 представлена зависимость количества циклов сброса воды на пожар ($N_{сбр}$) в течение одного полёта от расстояний взаимного удаления района пожара и водоёма забора воды ($L_{вод-пож}$).

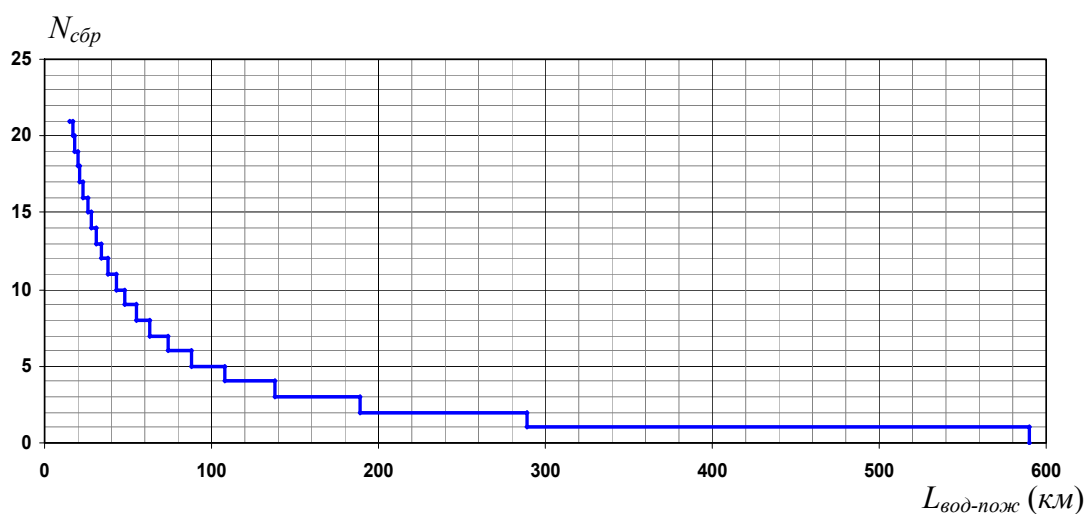


Рис. 2. Зависимость количества циклов сброса от удаления района пожара от водоёма забора воды

Данная зависимость является частным случаем работы самолёта-амфибии на пожаре при условии равенства "0" расстояния удаления района базирования самолёта-амфибии от района пожара или от водоёма забора воды. Максимальная дальность полёта рассчитана для полёта самолёта с заполнением водой наименьшего количества баков и количеством топлива, ограничиваемым максимальным весом самолёта для забора воды. Наименьшее расстояние удаления рабочего водоёма и района пожара может быть соизмеримо с расстоянием манёвра самолёта при выполнении забора и сброса воды. Увеличение количества сбросов по мере уменьшения расстояний взаимного удаления района пожара и водоёма забора воды происходит дискретно. Количество сбросов обусловлено возможностью выполнения целого количества циклов, исходя из ограничения максимального веса самолёта для забора воды, при условии заполнения водой при первом заборе баков по наименьшей схеме, и запаса топлива на борту.

Изменение количества циклов сброса воды в течение одного полёта при изменении расстояний взаимного удаления водоёма забора воды и района пожара ведёт к изменению средней скорости локализации участков горения. Используя данные результатов лётных испытаний, а также результатов реальных работ самолёта Бе-200ЧС на пожарах, с использованием выражения (4) выполнен расчёт изменения средней за полёт скорости локализации участков горения.

При выполнении расчёта приняты следующие допущения:

1. Количество сбрасываемой воды ($G_{вод}$) увеличивается по мере уменьшения количества топлива. При этом увеличение массы воды происходит ступенчато в соответствии с существующими схемами заполнения баковой системы самолёта (4, 6 или 8 баков), без превышения установленного ограничения взлётного веса самолёта для забора воды.

2. Размеры "пятна" при распределении воды на поверхности определены для участка с концентрацией $0,8 \text{ кг/м}^2$.

Указанная зависимость представлена на рис. 3.

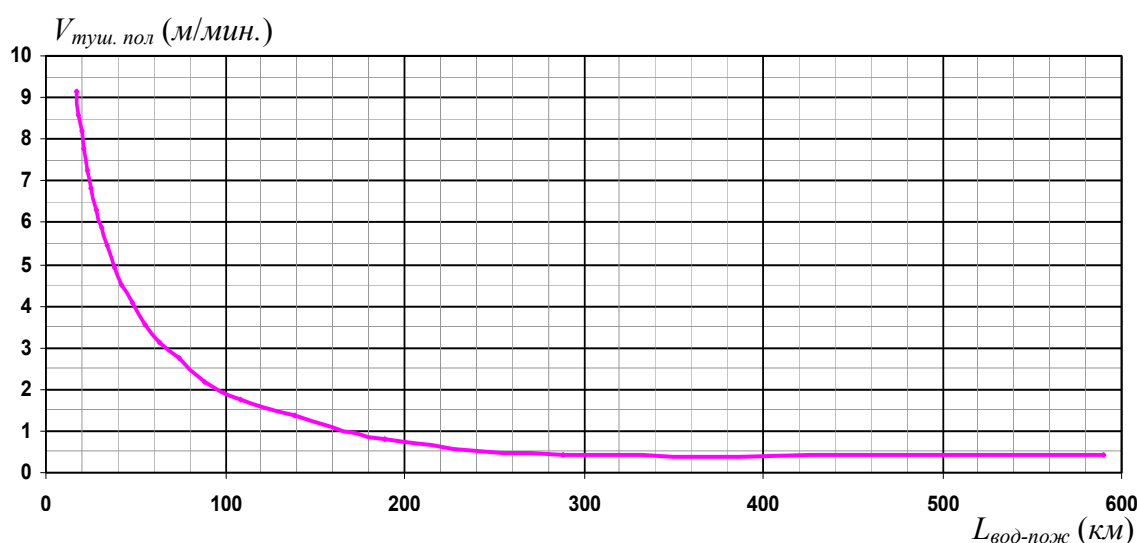


Рис. 3. Скорость локализации участков пожара от удаления района пожара от водоёма забора воды

Анализ полученной зависимости показывает, что наименьшая скорость локализации участков пожара соответствует удалению пожара, при котором самолёт за полёт может выполнить только один рабочий цикл сброса воды. Данное расстояние составляет радиус действия самолёта.

При расчёте зависимости количества циклов сброса, выполняемых самолётом-амфибией в течение одного полёта, от взаимного удаления места базирования, района пожара и водоёма забора воды учитывалось ступенчатое изменение количества сбросов по мере изменения расстояний взаимного удаления. При этом для всех расстояний удаления района пожара от места базирования и от водоёма забора воды величина заправки топливом на полёт рассчитывалась таким образом, чтобы при выполнении первого забора воды с заполнением наименьшего количества баков вес самолёта достигал ограничения для забора воды. Для указанных удалений района пожара от места базирования летательного аппарата определялись максимальные расстояния удалений рабочего водоёма и района пожара, при которых обеспечивается выполнение соответствующего количества циклов сброса. После выполнения крайнего сброса и последующего перелёта самолёта к месту базирования вес топлива на борту соответствовал навигационному остатку для данных условий.

Удаление района пожара от водоёма забора воды, обеспечивающее выполнение в течение полёта заданного количества сбросов воды при заданном удалении района пожара от места базирования, определится выражением:

$$L_{\text{вод-пож}} = \frac{L_{\text{пол.Т}} - 2L_{\text{баз-пож}} - 2N_{\text{сбрТ}}(L_{\text{зб}} + L_{\text{сбр}})}{2N_{\text{сбрТ}}}; \text{ (км)}. \quad (6)$$

Графическая зависимость количества циклов сброса, выполняемых самолётом-амфибией в течение одного полёта, от расстояний взаимного удаления места базирования, района пожара и водоёма забора воды представлена на рис. 4.

При выполнении отдельным летательным аппаратом циклов сброса результат воздействия на пожар и соответственно эффективность его применения в соответствующих условиях работы ($K_{\text{эф.ЛА}}$) определяется соотношением средней за полёт скорости локализации участков горения (прокладки заграждения) и средней скорости увеличения длины фронта горения по периметру лесного пожара ($V_{L \text{ пож}}$ (м/мин.)):

$$K_{\text{эф.ЛА}} = \frac{V_{\text{туш пол Т}}}{V_{L \text{ пож}}}. \quad (7)$$

Данное соотношение обуславливает возможность локализации лесного пожара летательным аппаратом в определённых условиях, а также результат проводимой работы. Факторами, определяющими значение данного соотношения для летательного аппарата, обладающего определёнными эксплуатационными и техническими характеристиками, являются характеристики распространения лесного пожара, а также внешние условия работы летательного аппарата.

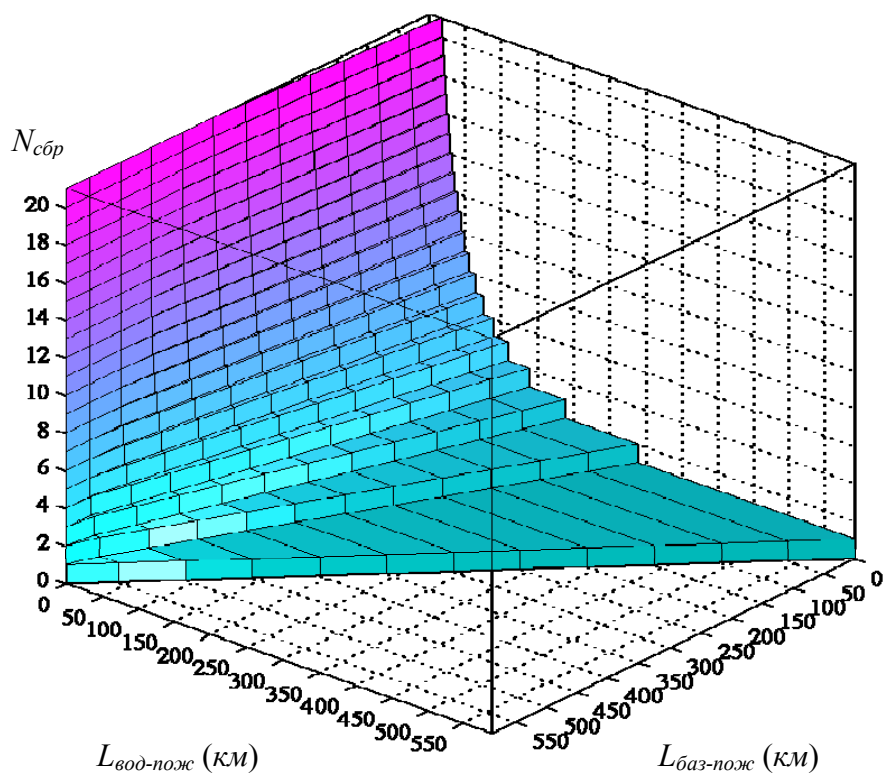


Рис. 4. Зависимость количества сбросов от взаимного удаления места базирования, района пожара и водоёма забора воды

На рис. 5 представлены зависимости изменения длины фронта пожара при работе летательного аппарата в определённых внешних условиях для различных скоростей распространения фронта пожара.

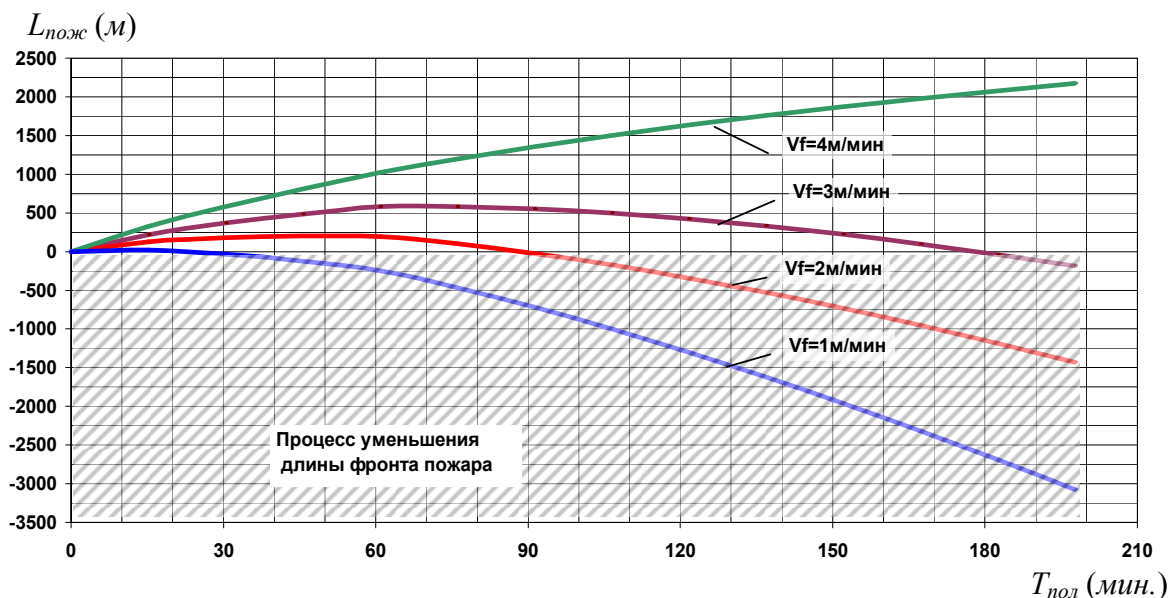


Рис. 5. Изменение длины фронта пожара в течение времени работы летательного аппарата в зависимости от скорости распространения фронта пожара ($L_{\text{бн}} = 100$ км, $L_{\text{ен}} = 25$ км)

Анализ представленных зависимостей показывает, что увеличение скорости распространения фронта пожара приводит к уменьшению интервала времени работы летательного аппарата, при котором происходит уменьшение длины фронта горения. Для заданных внешних условий работы летательного аппарата локализация лесного пожара будет происходить в определённом диапазоне скоростей распространения фронта пожара. Данный диапазон скоростей продвижения фронта пожара будет определять область эффективного применения летательного аппарата для определённых внешних условий работы. Влияние внешних условий работы летательного аппарата на диапазон его эффективного применения летательного аппарата на пожаре представлен на рис. 6.

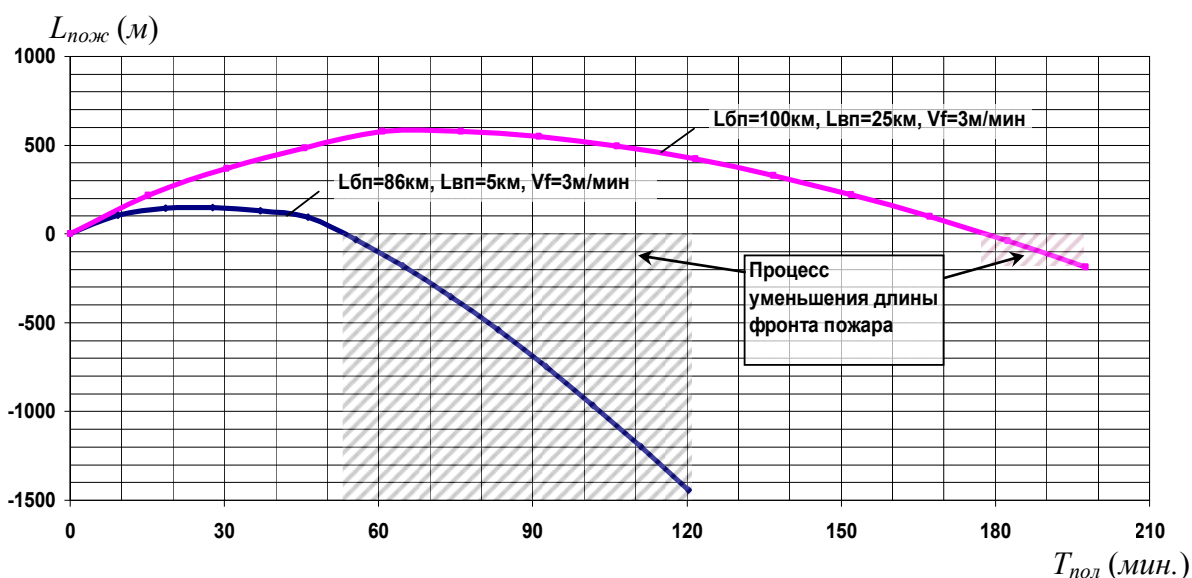


Рис. 6. Изменение длины фронта пожара в течение времени работы летательного аппарата в зависимости от удаления района пожара и водоёма забора

Указанные зависимости получены на основании результатов лётных испытаний, а также результатов работ самолёта-амфибии Бе-200ЧС на реальных пожарах. Анализ представленных зависимостей показывает, что при увеличении взаимного удаления района пожара от места базирования, а также удаления района пожара и водоёма забора уменьшается область эффективного применения летательного аппарата на пожаре. Наибольшие удаления района пожара от места базирования, а также района пожара от водоёма забора воды, при которых будет обеспечено уменьшение длины фронта горения по периметру лесного пожара, будет определять радиус эффективного применения летательного аппарата для определённых скоростей распространения фронта пожара. Изменение скорости распространения фронта горения обуславливает изменение диапазона расстояний эффективного применения летательных аппаратов для противодействия лесным пожарам.

Полученные аналитические и графические зависимости позволяют оценить влияние внешних факторов на эффективность применения самолётов-амфибий на пожаре. Это позволяет определить направления повышения эффективности применения авиационных средств при локализации лесных пожаров в различных условиях работы и в целом уменьшить ущерб, причиняемый лесными пожарами.

Литература

1. **Ерёмин В.А., Замуриев В.Г.** Применение воздушных судов для регулирования (тушения) лесных пожаров // Сборник докладов II научной конференции по гидроавиации "Геленджик-98". М.: Изд-во ЦАГИ, 1998. 89 с.

2. **Мороз В.И., Мороз О.В.** Сравнительный анализ эффективности доставки воды самолётами при тушении лесных пожаров в прибрежной зоне // Сборник докладов II научной конференции по гидроавиации "Геленджик-98". М.: Изд-во ЦАГИ, 1998. 81 с.

3. **Полосинов С.А.** Оценка эксплуатационных качеств самолёта-амфибии Бе-200ЧС при его практическом применении для локализации лесных пожаров // Сборник докладов VI научной конференции по гидроавиации "Гидроавиасалон-2006". М.: Изд-во ЦАГИ, 2006. 73 с.

4. **Технико-экономическая** оценка эффективности применения воздушных судов при тушении лесных пожаров / Пуздриченко В.Д. Ерёмин В.Н. и др. // Л.: Ленинградский НИИ лесного хозяйства, Ленуприздат ПО, № 3, 1989. 34 с.