

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра безопасности полетов и жизнедеятельности

А.Л. Рыбалкина

ФИЗИКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторной работы

**«ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ВЗЛЕТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ»**

*для студентов III курса направления 280700
и IV курса направления 162300
очной формы обучения*

Москва - 2014

ББК 053-082.03

Р 93

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Г. Ципенко;
канд. техн. наук, проф. О.В. Пахомов

Рыбалкина А.Л.

Р93 Физика неблагоприятных внешних условий: пособие по выполнению лабораторной работы «Влияние внешних условий на взлетные характеристики воздушных судов». – М.: МГТУ ГА, 2014. - 16 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Физика неблагоприятных внешних условий» по Учебному плану для студентов III курса направления 280700 и IV курса направления 162300 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 18.06.13 г. и методического совета 10.09.13 г.

Редактор И.В. Вилкова

Печать офсетная
0,93 усл. печ. л.

Подписано в печать 29.01.14 г.
Формат 60x84/16
Заказ № 1696/

0,91 уч.-изд. л.
Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2014

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ВЗЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ»

Цель работы. В ходе выполнения лабораторной работы студенты должны научиться:

- рассчитывать взлетные дистанции воздушных судов (ВС), а также потребную длину взлетно-посадочной полосы (ВПП) в зависимости от внешних условий (метеословий) на аэродроме;

- оценивать влияние внешних условий на длину разбега и взлета ВС.

Продолжительность лабораторной работы - 2 часа.

1. Краткая теоретическая часть

Взлёт наиболее ответственный этап полёта. В этот момент масса самолёта наибольшая (запас топлива, загрузка), двигатели работают на взлётном (максимальном) режиме, кроме того, взлет может происходить при предельных для воздушного судна и экипажа метеословиях. Для определения взлетных дистанций ВС необходимо знание его массы, высоты аэродрома над уровнем моря, температуры воздуха и тяги двигателей, которые гарантировали бы взлёт в заданных пределах ВПП и свободной зоны.

Факторы, определяющие длину разбега

1. *Плотность воздуха.* При уменьшении плотности воздуха (высокая температура, низкое давление, высокогорный аэродром) длина разбега увеличивается из-за уменьшения тяги двигателей и увеличения скорости отрыва.

2. *Взлетная масса самолета.* При уменьшении взлетной массы длина разбега уменьшается из-за уменьшения скорости отрыва и увеличения тяговооруженности.

3. *Механизация крыла.* При отклонении закрылков коэффициент подъемной силы увеличивается, а скорость отрыва уменьшается.

4. *Ветер.* При взлете со встречным ветром величина путевой скорости отрыва уменьшается, соответственно сокращается длина разбега. При попутном ветре длина разбега увеличивается. При взлете с боковым ветром из-за роста силы лобового сопротивления в результате скольжения, отклонения органов управления, вследствие большей силы трения из-за развернутых передних колес длина разбега увеличивается.

5. *Наклон взлетной полосы.* При движении под уклон длина разбега сокращается за счет того, что разгон самолета будет определяться суммой силы тяги и силы тяжести, умноженной на синус угла наклона ВПП. При движении в гору, наоборот, длина разбега увеличивается.

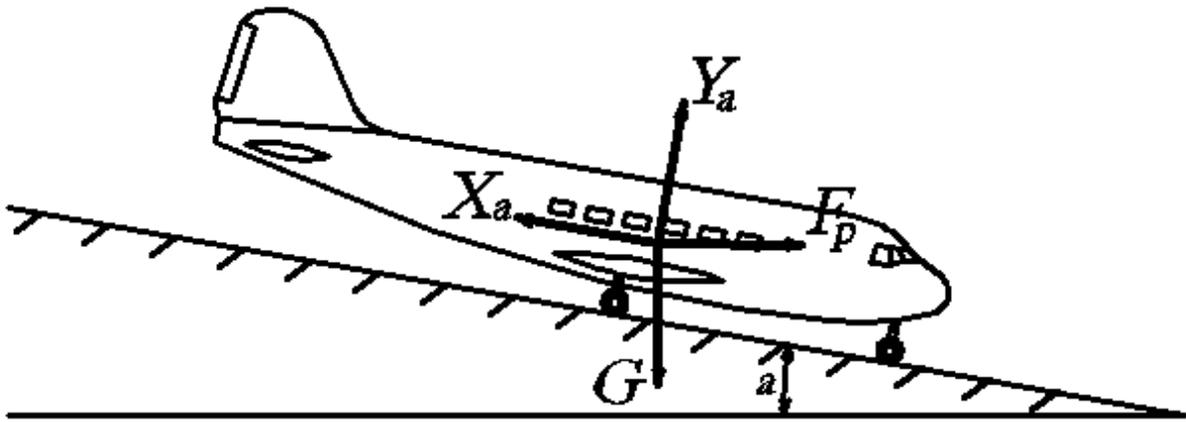


Рис. 1. Силы, действующие на ВС при взлете с наклоном ВПП:
 Y_a - подъемная сила; X_a - сила лобового сопротивления; F_p - сила тяги;
 G - сила тяжести; a - угол наклона ВПП

Влияние температуры на взлет ВС

Взлетные дистанции ВС зависят от плотности воздуха, так как от плотности воздуха зависит подъемная сила, определяемая по формуле

$$Y = C_y \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха;

S - площадь крыла;

V - воздушная скорость самолета;

C_y — коэффициент подъемной силы.

Из формулы (1) видно, что чем больше плотность воздуха, тем больше подъемная сила. Плотность же воздуха, в свою очередь, зависит от температуры. При повышении температуры плотность воздуха уменьшается, а следовательно, уменьшается подъемная сила. При понижении температуры наблюдается обратная картина.

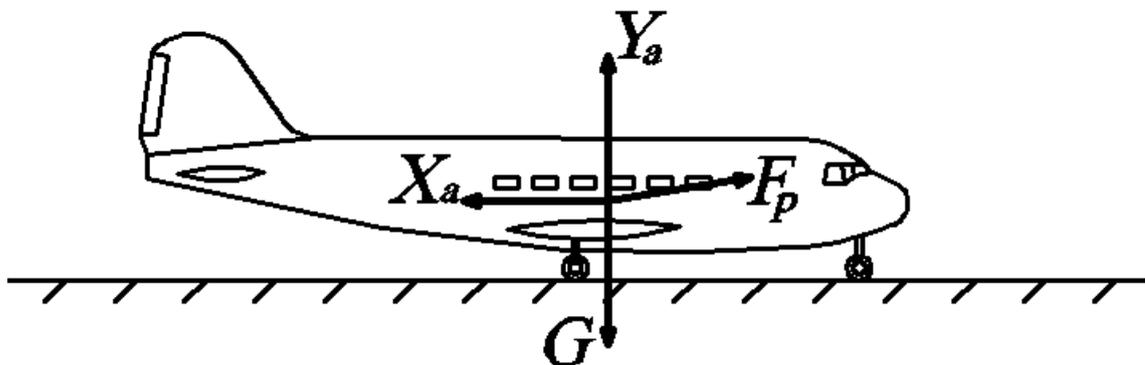


Рис. 2. Силы, действующие на ВС при взлете

Помимо этого температура воздуха, близкая к нулю, может привести к замерзанию воды в радиаторах, а также способствовать образованию гололеда. Лед на ВПП осложняет руление, взлет и посадку самолетов.

Влияние ветра на взлет ВС

Для словесной характеристики ветра в зависимости от его скорости употребляется следующая терминология:

- слабый – 2-3 м/с;
- умеренный – 4-7 м/с;
- сильный – 10-12 м/с;
- очень сильный – более 15 м/с;
- шторм – более 20 м/с;
- жесткий шторм – более 25 м/с;
- ураган – более 30 м/с.

Ветер оказывает большое влияние на взлетные дистанции ВС. Выбор направления ВПП, построек аэродрома зависит прежде всего от направления преобладающего ветра. От направления и скорости ветра по отношению к ВПП зависит безопасность взлета и посадки самолета. Ветер вызывает опасные явления, препятствующие производству полетов или усложняющие их, такие как ураганы, шквалы, пыльные бури, метели.

Ветер влияет на длину разбега самолета. Самолет взлетает и садится в основном против ветра. Путевая скорость $V_n = V_{BC} \pm W$, где V_{BC} – воздушная скорость самолета; W – скорость ветра; знак «+» обозначает попутный ветер, а «-» – встречный ветер, то есть попутный ветер увеличивает путевую скорость, а встречный ее уменьшает. Следовательно, при встречном ветре скорость отрыва будет достигнута при меньшей путевой скорости, что приводит к уменьшению взлетной дистанции. Это означает, что самолет может взлететь с более короткой ВПП.

Аналогичная картина будет наблюдаться и при посадке самолета. При взлете с попутным ветром длина разбега самолета увеличивается.

Боковой ветер также может оказать опасное воздействие на самолет. При разбеге с боковым ветром постоянной скорости u (рис. 1) ВС необходимо отклониться на угол ($\beta = u/V$), образованный направлением результирующей скорости W и осью самолета. В момент страгивания самолета он равен 90° , но затем с ростом скорости движения быстро уменьшается. На самолет действует разворачивающий момент $M_{разв}$, создаваемый боковой силой $Z_{бок}$, образующейся вследствие несимметричного обдува фюзеляжа и киля набегающим воздушным потоком. Разворачивающий момент и боковая сила непрерывно изменяются в процессе разбега.

Таким образом, при взлете с боковым ветром самолет стремится развернуться против ветра и имеет тенденцию к накренению по ветру.

При наличии у крыла стреловидности поперечная составляющая скорости, определяющая величину подъемной силы у левого полукрыла будет

больше, а у правого меньше. Соответственно этому подъемная сила Y_{Π} и сила лобового сопротивления левого крыла Q_{Π} будут больше, чем Y_{Π} и Q_{Π} правого крыла. В результате разности подъемных сил на самолет действует кренящий момент на правое крыло (по ветру); разность же сил лобового сопротивления приводит к образованию дополнительного разворачивающего момента, совпадающего по направлению с моментом от боковой силы $Z_{бок}$.

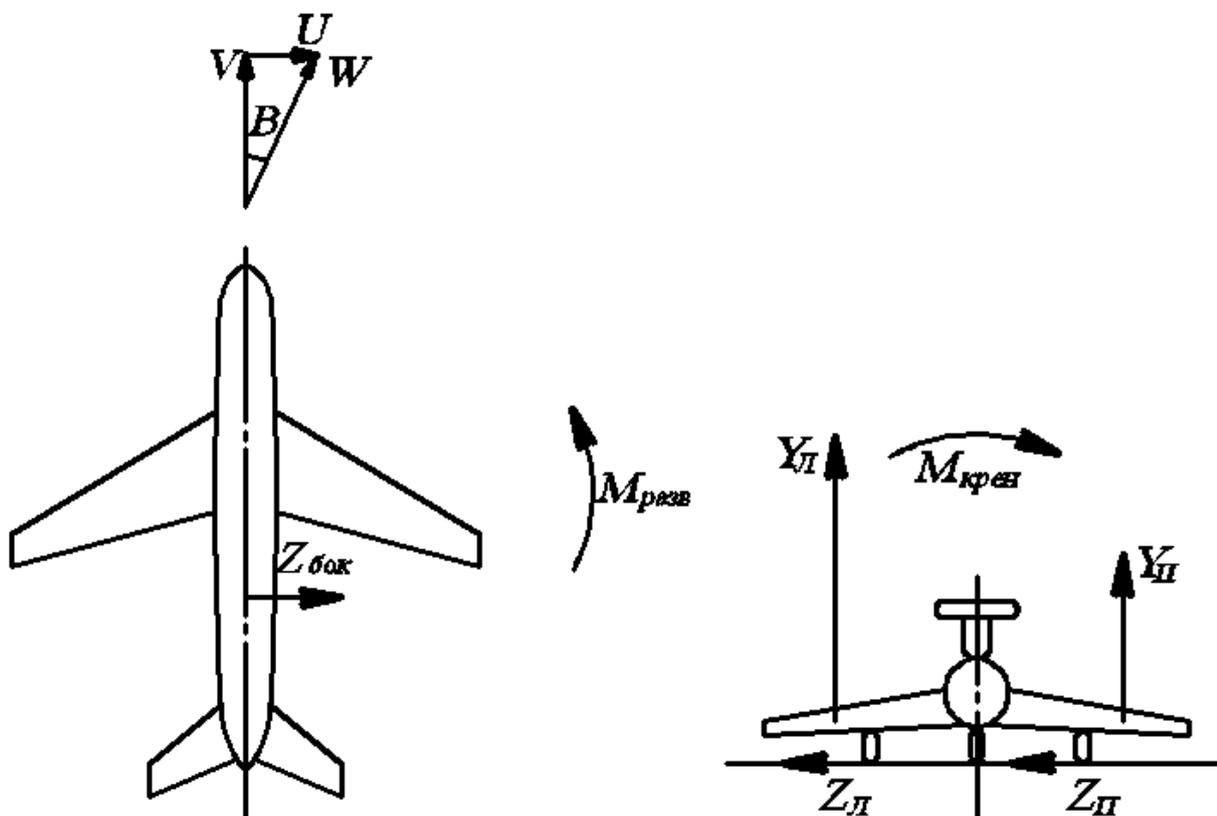


Рис. 3. Кренящий и разворачивающий моменты при взлете с боковым ветром

Для обеспечения безопасности полетов для каждого типа самолета устанавливаются предельно допустимые значения скорости бокового ветра (его боковой составляющей), скорости попутного ветра и скорости встречного ветра. Отечественные магистральные самолеты могут взлетать и садиться при боковом ветре до 15 м/с на сухую ВПП и до 5-8 м/с на мокрую ВПП. Для легких самолетов скорость бокового ветра не должна превышать 10 м/с. Для попутного ветра ограничения более жесткие: практически все типы самолетов могут взлетать при попутном ветре, скорость которого не превышает 5 м/с. Ограничение полетов по скорости встречного ветра для большинства типов самолетов составляет 25-30 м/с.

Влияние состояния поверхности ВПП на длину разбега

При разбеге по обледеневшей или покрытой слякотью ВПП уменьшается сцепление колес с ВПП, что ухудшает путевую устойчивость самолета при

разбега. Это еще более усугубляется при наличии бокового ветра, стремящегося развернуть самолет и сдуть его с оси ВПП, поэтому при взлете в таких условиях скорость допустимого бокового ветра дополнительно ограничивается.

При разбеге по ВПП, покрытой водой или слякотью, возрастает общее сопротивление движению самолета за счет увеличения силы гидродинамического сопротивления $F_{гидр}$ и сопротивления от брызг, в результате чего длина разбега увеличивается. По опытным данным длина разбега самолета на покрытиях со слякотью увеличивается примерно на 5 % на каждый 1 мм толщины жидкости.

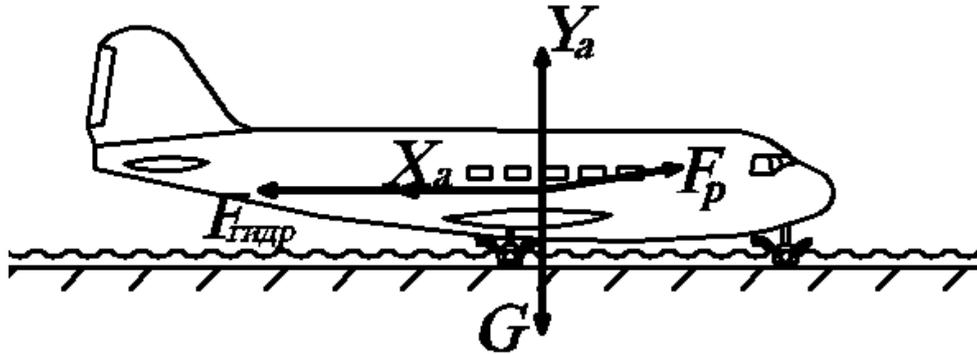


Рис. 4. Силы, действующие на ВС при взлете с ВПП, покрытой водой или слякотью

При большой скорости движения самолета колеса отбрасывают воду и слякоть в виде мощных струй, которые, попадая на корневые части крыла, фюзеляж и внутрь отсеков шасси, увеличивают встречное сопротивление движению и способны вызвать повреждение элементов конструкции самолета. Также возможно попадание воды и слякоти в воздухозаборники авиадвигателей, из-за чего может быть нарушен режим их работы (уменьшение тяги или даже остановка двигателей).

Взаимодействие колес опоры с поверхностью ВПП на пробеге определяется коэффициентом сцепления. Коэффициент сцепления зависит от многих факторов: состояния поверхности ВПП, структуры её покрытия, качества резины шин, числа торможений и т.д. Наличие на ВПП осадков, слякоти или льда приводит к значительному уменьшению коэффициента сцепления.

Определение взлетных характеристик ВС

Взлет самолета - это неустановившееся движение самолета, в процессе которого он переводится из стояночного положения в управляемый полет путем разгона до определенной безопасной скорости ($V_{без}$) и набора минимальной высоты $H_{взл} = 10,7$ м. На рис. 5 показана схема взлета самолета.

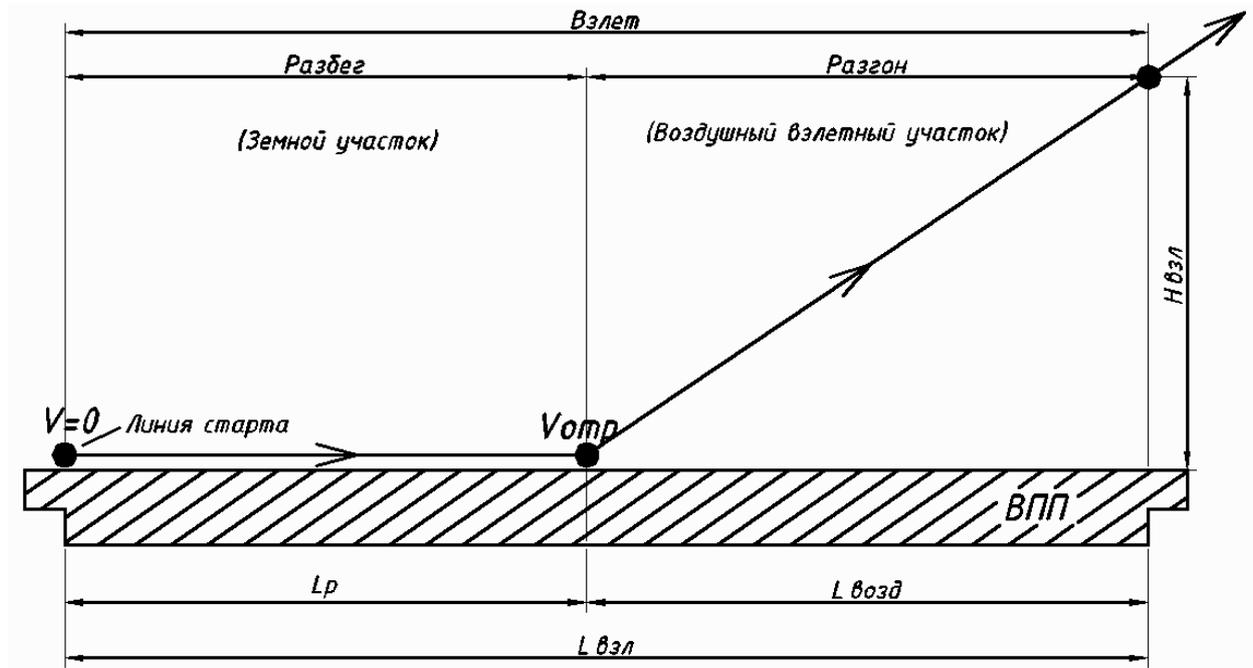


Рис. 5. Схема взлета самолета

Разбег самолета - это неустановившееся движение самолета по земле. Он предназначен для изменения скорости движения от нуля до скорости отрыва $V_{отр}$, которая находится из формулы (1) при равенстве подъемной силы и силы тяжести

$$V_{отр} = \sqrt{\frac{2G_{взл}}{\rho \cdot S \cdot C_{ya}}}, \quad (2)$$

где $G_{взл}$ – сила тяжести, действующая на ВС при взлете;

ρ – плотность воздуха;

S – площадь крыла;

C_{ya} – коэффициент подъемной силы на взлете.

Расстояние, проходимое самолетом с момента старта на линии старта до момента его отрыва от ВПП, называется длиной разбега L_p

$$L_p = \frac{(V_{отр} \pm W_x)^2}{2g \left(\frac{F_{рсп}}{G} - f \right)}, \quad (3)$$

где $F_{рсп}$ – среднее значение силы тяги (при $V = 0,7V_{отр}$);

f – коэффициент трения;

W_x – скорость попутного (встречного) ветра.

Разгон самолета до безопасной скорости взлета $V_{без}$ с одновременным набором минимальной высоты полета ($H_{взл} = 10,7$ м) называется воздушным взлетным участком или участком разгона.

Длина взлетного воздушного участка

$$L_{возд} = \frac{G}{F_{изб.ср.}} \left(\frac{V_{без}^2 - V_{отр}^2}{2g} + 10,7 \right), \quad (4)$$

где $F_{изб.ср.}$ – полусумма избытков тяги в начале и в конце разгона;
 $V_{без}$ – безопасная скорость взлета;

$$V_{без} = (1,1-1,15)V_{отр}. \quad (5)$$

Дистанции разбега и разгона, полученные расчетным путем, принято называть фактическими дистанциями взлета. Значения фактических дистанций разбега и разгона для условий нормального взлета относятся к основным характеристикам самолета, они определяют требуемую длину разбега $L_{ПДР}$ и требуемую дистанцию взлета $L_{ПДВ}$:

$$\begin{aligned} L_{ПДР} &= 1,15 \cdot (L_p + 0,5L_{возд}); \\ L_{ПДВ} &= 1,15 \cdot (L_p + L_{возд}). \end{aligned} \quad (6)$$

Полученные значения требуемых дистанций определяют требуемую длину ВПП следующим образом:

$$\begin{aligned} L_{ПДР} &\leq L_{ВПП}; \\ L_{ПДВ} &\leq 1,5 L_{ВПП} + L_{КПБ}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $L_{КПБ}$ - длина концевой полосы безопасности.

В работе необходимо найти длину разбега и взлетного воздушного участка при различных метеоусловиях и определить, возможен ли взлет ВС в заданных условиях.

3. Описание программы

Программа «Влияние внешних условий на взлетные характеристики воздушных судов» предназначена для расчета взлетных дистанций ВС в зависимости от внешних условий (метеоусловий) на аэродроме. В программе производятся следующие расчеты:

- расчет длины разбега ВС в зависимости от метеоусловий;

Расчет длины разбега (без учета влияния ветра)

Взлетная масса, $m_{взл}$: т

Коэффициент трения скольжения, f :

Плотность воздуха, ρ : кг/м³

Площадь крыла, S : м²

Коэффициент подъемной силы на взлете, $C_{yа}$:

Скорость отрыва, $V_{отр}$: км/ч

0.7 $V_{отр}$: км/ч

Среднее значение тяги, $F_{ср}$: кН

Число двигателей :

Длина разбега, L_p : м

- расчет дистанции воздушного взлетного участка;

Расчет дистанции воздушного взлетного участка

Безопасная скорость взлета, $V_{без}$: км/ч

Располагаемая тяга при $V_{без}$, F_p : кН

Располагаемая тяга при $V_{отр}$, F_p : кН

Коэффициент подъемной силы при $V_{без}$, $C_{yа}$:

Коэффициент лобового сопротивления при $V_{без}$, $C_{xа}$:

Коэффициент лобового сопротивления при $V_{отр}$, $C_{xа}$:

Длина взлетного воздушного участка, $L_{взод}$: м

- расчет потребной и располагаемой дистанций разбега и взлета ВС.

Расчет потребных взлетных характеристик

Потребная длина разбега :

Потребная дистанция взлета :

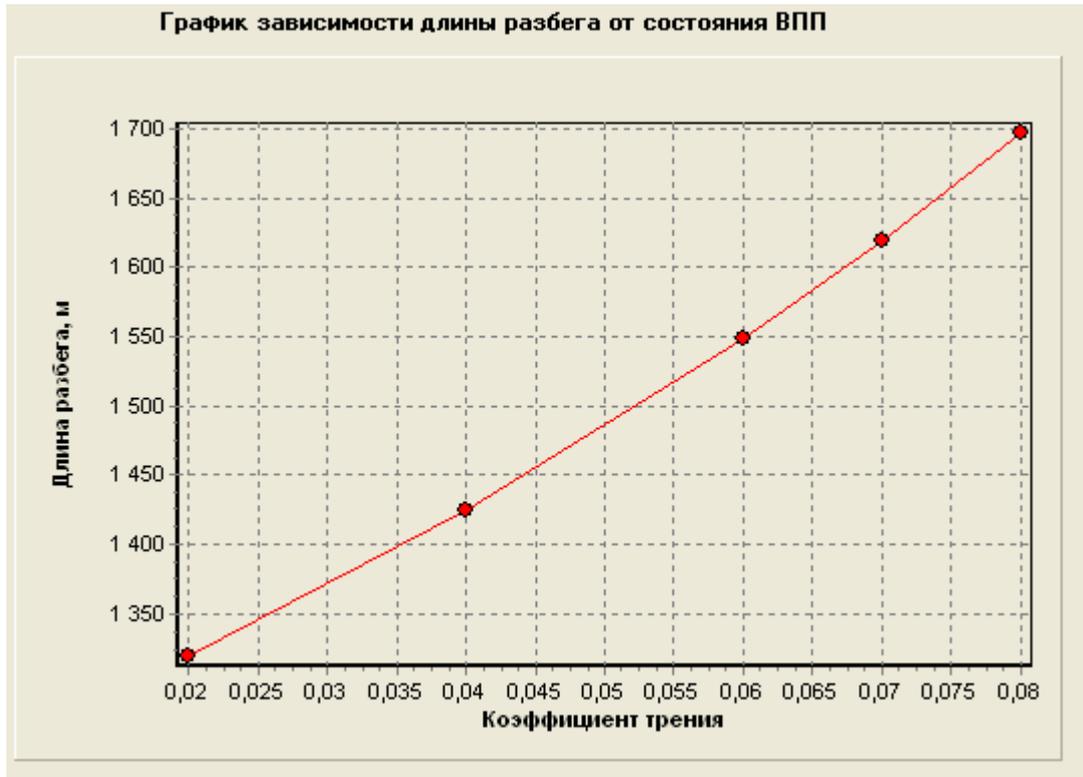
Длина ВПП, $L_{впп}$: м

Располагаемая длина разбега :

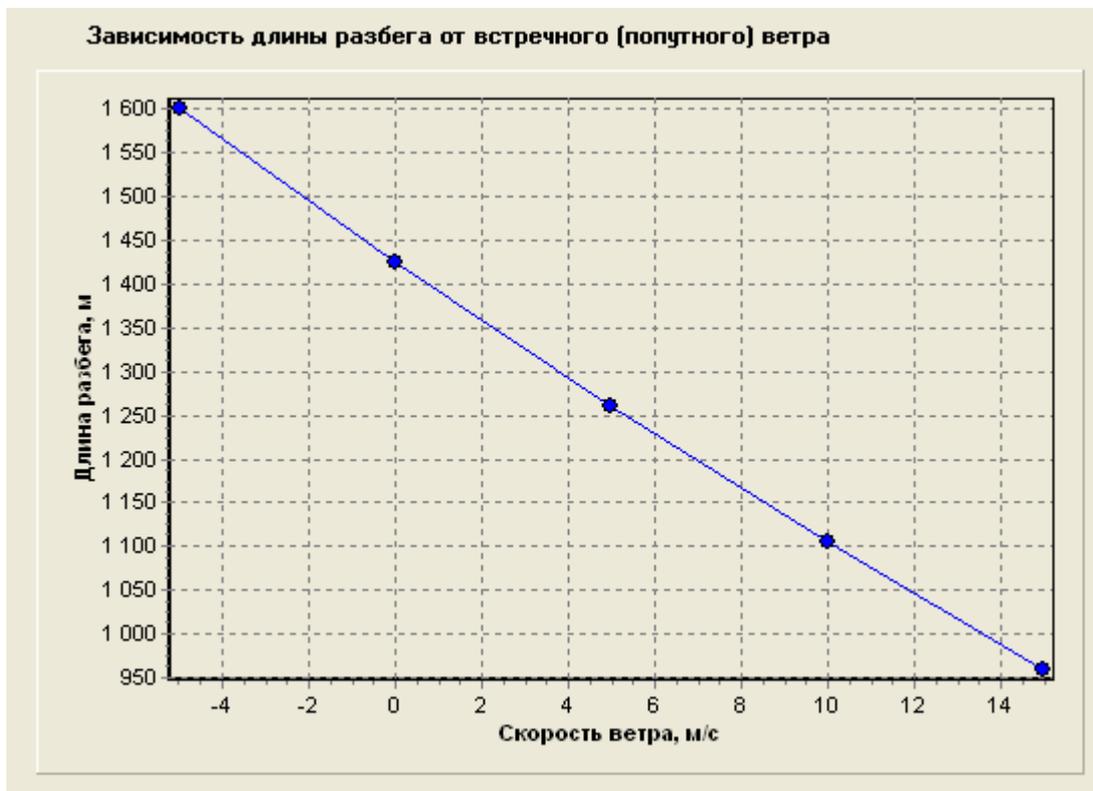
Располагаемая дистанция взлета :

Также в программе можно построить следующие графики:

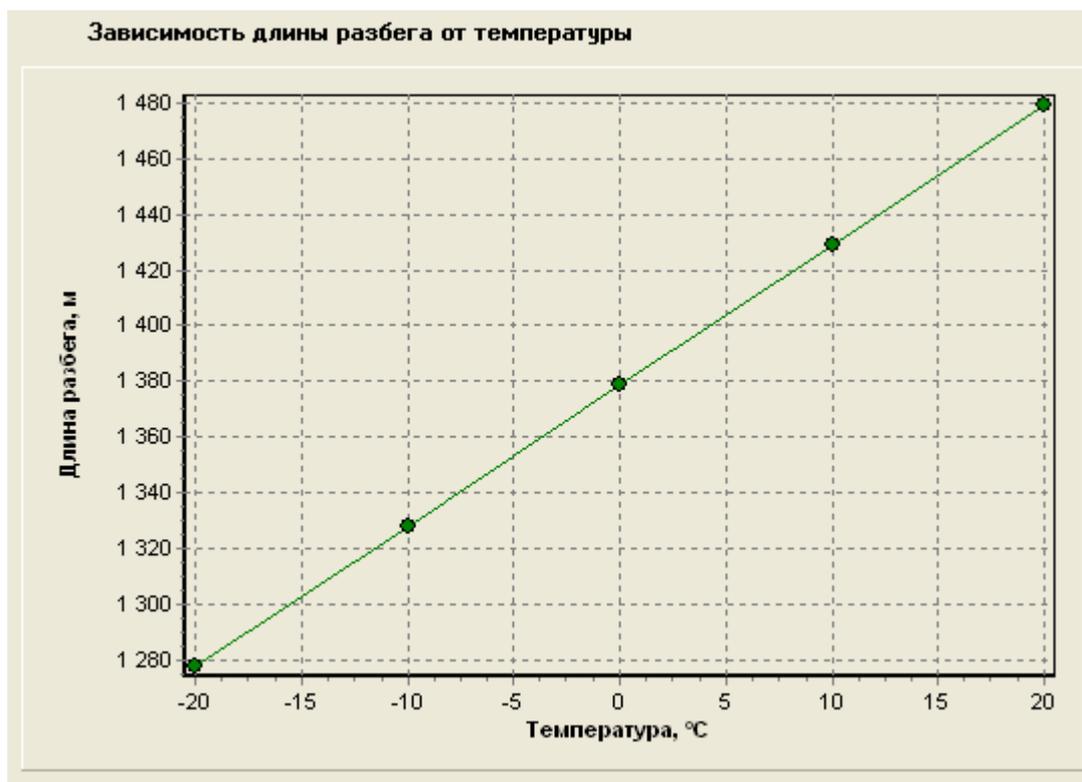
- график изменения длины разбега от состояния взлетно-посадочной полосы (изменения коэффициента трения качения);



- график изменения длины разбега от скорости ветра;



- график изменения длины разбега от температуры.



3. Порядок выполнения работы

1. Открыть файл «Влияние внешних условий на взлетные характеристики ВС.exe».

2. Во вкладке «Вариант» выбрать свой вариант по списку группы.

3. Провести расчет длины разбега ВС без учета влияния ветра.

Для этого заполнить значения:

- взлетной массы $m_{взл}$ – согласно исходным данным;
- коэффициента трения скольжения f – по табл. 1 «Значения коэффициента трения» вкладки «Справочные данные»;
- плотности воздуха ρ – по табл. 2 «Зависимость плотности воздуха от температуры» вкладки «Справочные данные»;
- площади крыла S – по табл. 3 «Данные о ВС» вкладки «Справочные данные»;
- коэффициента подъемной силы на взлете C_{ya} – по рис. 1 «Полетные поляры» вкладки «Справочные данные».

Рассчитать скорость отрыва $V_{отр}$, нажав на кнопку «Рассчитать».

Заполнить значения:

- среднего значения тяги – $F_{ср}$ – по рис. 2 «Кривые располагаемых тяг» вкладки «Справочные данные»;

– число двигателей - по табл. 3 «Данные о ВС» вкладки «Справочные данные».

Рассчитать значение длины разбега ВС L_p .

4. Провести расчет дистанции воздушного взлетного участка.

Для этого рассчитать значение безопасной скорости взлета $V_{без}$ и коэффициент подъемной силы при $V_{без}$. В соответствии с полученными значениями скорости найти величины располагаемых тяг и коэффициенты лобового сопротивления при $V_{без}$ и $V_{отр}$. Рассчитать длину взлетного воздушного участка $L_{возд}$.

5. Провести расчет потребных взлетных характеристик.

В соответствии с исходными данными заполнить поле «Длина ВПП, $L_{ВПП}$ ». Рассчитать величину располагаемых и потребных дистанций разбега и взлета. Сделать вывод о возможности взлета ВС в заданных условиях.

6. Построить график зависимости длины разбега от состояния ВПП (значения коэффициента трения).

Для этого заполнить значения коэффициента трения для различных условий на ВПП и рассчитать соответствующую им длину разбега. Построить график, нажав на кнопку «График». Сделать вывод.

7. Построить график зависимости длины разбега от встречного (попутного) ветра.

Для этого заполнить значения скорости ветра с разницей в 5 м/с и рассчитать соответствующую им длину разбега. Построить график. Сделать вывод.

8. Построить график зависимости длины разбега от температуры.

Для этого заполнить значения температуры в интервале от -25° до 35°C и соответствующие им значения плотности воздуха. Рассчитать длину разбега и построить график. Сделать вывод.

9. Определить предельно допустимое значение бокового ветра.

В зависимости от заданного значения бокового ветра найти коэффициент сцепления с ВПП по табл. 4 «Значения коэффициента сцепления» вкладки «Справочные данные». По табл. 4 «Максимально допустимая боковая составляющая скорости ветра на взлете» вкладки «Справочные данные» определить предельно допустимое значение бокового ветра. Сделать вывод о возможности взлета ВС в заданных условиях.

4. Форма отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа
«Влияние внешних условий на взлетные характеристики
воздушных судов»

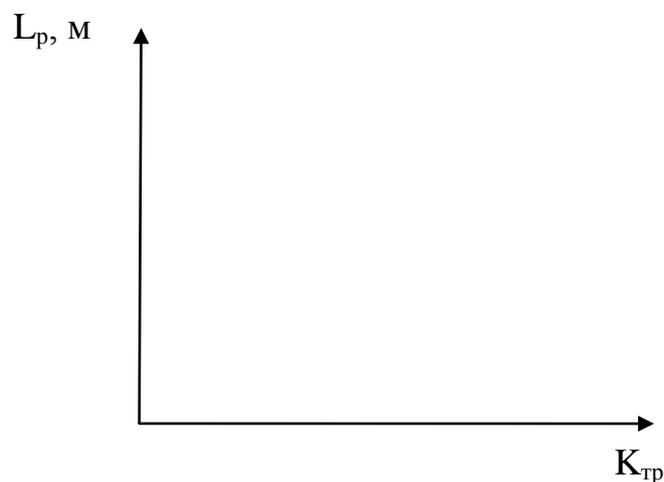
Выполнил _____ (Ф.И.О.) Группа _____

Расчет требуемых взлетных характеристик ВС

Тип ВС	
Взлетная масса, т	
Условия на ВПП	
Температура, °С	
Длина ВПП, м	
Требуемая длина разбега, м	
Требуемая дистанция взлета, м	
Доступная длина разбега, м	
Доступная дистанция взлета, м	

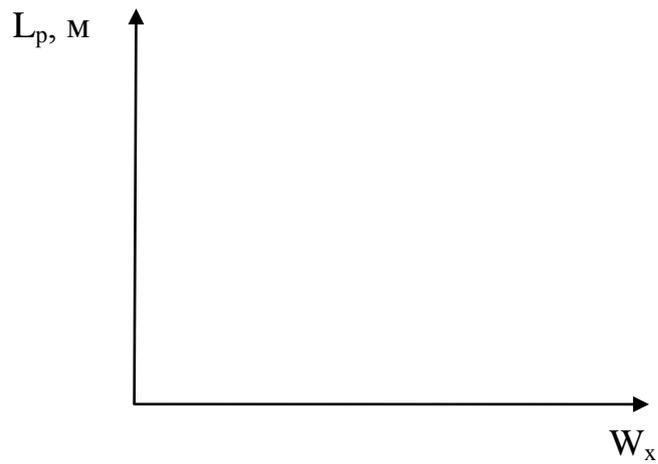
Вывод: _____

График зависимости длины разбега от состояния ВПП
(значения коэффициента трения)



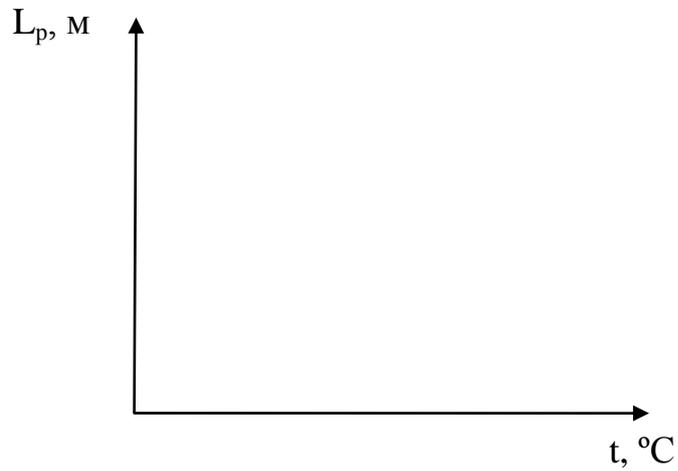
Вывод: _____

График зависимости длины разбега от встречного ветра



Вывод: _____

График зависимости длины разбега от температуры



Вывод: _____

Определение предельно допустимого значения бокового ветра

Боковой ветер, м/с	
Коэффициент сцепления	
Предельно допустимое значение бокового ветра, м/с	

Вывод: _____

5. Контрольные вопросы

1. Факторы, определяющие длину разбега.
2. Влияние температуры воздуха на взлетные дистанции ВС.
3. Влияние встречного (попутного) ветра на взлетные дистанции ВС.
4. Влияние бокового ветра на взлетные дистанции ВС.
5. Влияние состояния поверхности ВПП на длину разбега.
6. Определение длины разбега ВС.
7. Определение длины взлетного воздушного участка.
8. Определение потребных дистанций разбега и взлета.

Литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология: учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005.
2. Ермаков А.Л., Ципенко В.Г. Динамика полета: пособие по выполнению курсовой работы. - М.: МГТУ ГА, 2002.
3. Юркин Ю.А. Лётная эксплуатация ЛА: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2002. –Ч. 1.
4. Бехтина Н. Б. Разработка и обоснование рекомендаций по повышению эффективности и безопасности эксплуатации тяжелых транспортных самолетов на основе универсальной математической модели динамики шасси: дисс.... канд. техн. наук: 05.22.14. - М., 2008.