

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ЛЕТНЫХ ПОЛОС АЭРОДРОМА В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке проектов вновь строящихся аэродромов, а также проектов реконструкции существующих одним из главных вопросов является определение длины и ширины элементов летных полос и приаэродромной территории, обеспечивающих безопасность взлета и посадки всех типов самолетов, эксплуатируемых на данном аэродроме.

В практике проектирования аэродромов в настоящее время применяется *опытно-теоретический метод определения длины взлетно-посадочной полосы (ВПП)*. По этому методу длина ВПП определяется путем умножения некоторой стандартной длины ВПП, полученной в результате испытаний самолета в так называемых стандартных условиях, на ряд поправочных коэффициентов, учитывающих различие фактических (местных) условий от стандартных.

*Стандартная атмосфера*, принятая в Беларуси, совпадает со стандартной атмосферой, принятой Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), и имеет следующие характеристики [1]:

- воздух является идеально сухим газом;
- физические константы воздуха — плотность на уровне моря  $\rho_0 = 1,23 \text{ кг/м}^3$ ;
- температура на уровне моря  $T_0 = 288,15^\circ\text{K}$ , или  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ;
- давление воздуха на уровне моря 760 мм рт. ст.; состояние воздуха спокойное — штиль; закон падения температуры по высоте (да высоты 11 000 м над уровнем моря)  $t_n = 15^\circ\text{C} - 0,0065H$ , где  $H$  — высота расположения аэродрома над уровнем моря, м.

При проектировании конкретного аэродрома длина искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) и концевой полосы безопасности (КПБ) определяется каждый раз расчетом с учетом расчетных (местных) условий. Расчетными характеристиками местных условий являются: высота расположения аэродрома над уровнем моря, расчетная температура воздуха и средний уклон взлетно-посадочной полосы.

## МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении исследований были использованы следующие методики [2].

**1. Определение длины летной полосы для взлета самолета в стандартных условиях.**

В соответствии с рекомендациями ИКАО в настоящее время при определении длины ИВПП и КПБ для безопасного взлета принят в качестве расчетного случай отказа в работе одного из двигателей самолета в процессе его разбега. Все современные отечественные пассажирские самолеты, имеющие не менее двух двигателей, способны продолжать взлет в случае отказа одного из них. Самолет при этом в большинстве случаев не летит по заданному маршруту, а производит посадку на ближайшие аэродромы или аэродром, с которого взлетел.

Таким образом, в случае отказа двигателя пилот должен принять решение продолжать взлет или прервать его. В случае продолженного взлета длина летной полосы должна обеспечивать разбег самолета и подъем его на высоту 10 м над уровнем ИВПП

с одновременным разгоном самолета до безопасной скорости взлета при отказавшем одном двигателе, т.е. должна быть равна взлетной дистанции  $L_{взл}^0$ , определяемой как расстояние, проходимое самолетом от начала разбега до набора высоты 10 м над уровнем ИВПП (рис. 1.1):

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 - l_{ст} = L_{взл}^0 \quad (1.1)$$

или

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 = l_{ст} + L_{взл}^0 = l_{ст} + l_{разб n}^0 + l_{разб n-1}^0 + l_{H=10}^0 \quad (1.2)$$

где  $L_{ИВПП+КПБ}^0$  – суммарная длина ИВПП и КПБ в стандартных условиях, м;  $l_{ст}$  – расстояние от конца ИВПП до начала разбега, равное длине участка, необходимого для выруливания самолета, м;  $L_{взл}^0$  – взлетная дистанция самолета в стандартных условиях, м;  $l_{разб n}^0$  – длина разбега самолета при всех работающих двигателях от точки старта до точки отказа двигателя в стандартных условиях, м;  $l_{разб n-1}^0$  – длина разбега самолета при одном отказавшем двигателе от точки отказа до точки отрыва самолета в стандартных условиях; в указанную длину условно включается также длина участка, проходимого самолетом за время реакции пилота, т.е. за время с момента отказа двигателя до принятия решения на продолжение взлета, м;  $l_{H=10}^0$  – воздушный участок взлетной дистанции до набора высоты 10 м в стандартных условиях, м.

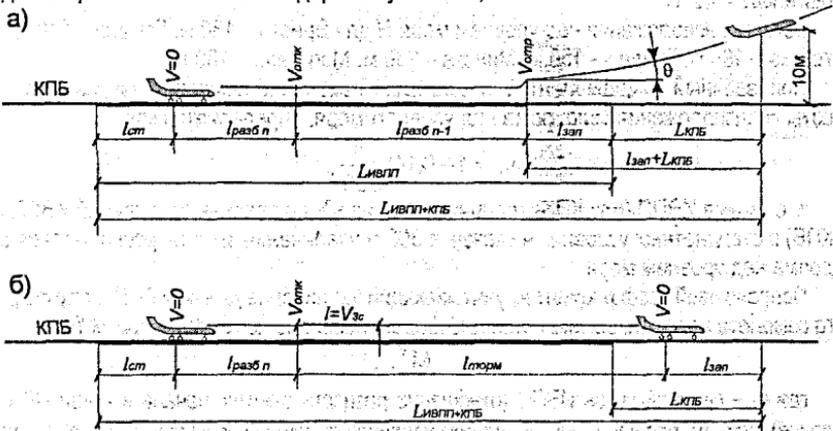


Рис. 1.1. Расчетные схемы для определения длины ИВПП: а – в случае продолженного взлета самолета; б – в случае прерванного взлета

При прерванном взлете (рис. 1.1б) длина дистанции движения самолета по летной полосе в стандартных условиях

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 = l_{ст} + l_{разб}^0 + l_{торм}^0 + l_{зап}^0 \quad (1.3)$$

где  $l_{торм}^0$  – участок торможения самолета до полной его остановки, условно включает также длину участка, проходимого самолетом за время реакции пилота ( $t \leq 3$  с);  $l_{зап}^0$  – необходимый запас, определяется из условия обеспечения разворота самолета на КПБ по кривой эксплуатационного радиуса, принимается равным эксплуатационному радиусу разворота самолета, м.

## 2. Определение длины летной полосы для взлета самолета в расчетных условиях.

Необходимая длина ИВПП в расчетных условиях вычисляется по формуле

$$L_{\text{ИВПП}} = L_{\text{ИВПП}}^0 \cdot k_t \cdot k_n \cdot k_i, \quad (1.4)$$

где  $L_{\text{ИВПП}}$  и  $L_{\text{ИВПП}}^0$  – длина ИВПП соответственно в расчетных и стандартных условиях, м;  $k_t$ ,  $k_n$  и  $k_i$  – поправки на температуру воздуха, высоту расположения аэродрома и уклон ИВПП.

В практических расчетах длины ИВПП изменение плотности воздуха учитывается двумя поправочными коэффициентами –  $k_t$  и  $k_n$ .

Расчетное значение  $k_t$  вычисляется по формуле

$$k_t = 1 + 0,01(t_{\text{расч}} - t_n), \quad (1.5)$$

где  $t_n$  – температура, соответствующая стандартной атмосфере при расположении аэродрома на высоте  $H$  над уровнем моря, определяется по формуле  $t_n = 15^\circ\text{C} - 0,0065H$ ,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{расч}}$  – расчетная температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;

$$t_{\text{расч}} = 1,07t_{13} - 3^\circ, \quad (1.6)$$

где  $t_{13}$  – среднемесячная температура в 13 ч дня самого жаркого месяца в году за многолетний период наблюдений, определяется по данным наблюдений ближайшей метеостанции и составляет для Бреста, Гомеля –  $23^\circ\text{C}$ ; Витебска, Минска –  $21^\circ\text{C}$ ; Гродно, Могилева –  $22^\circ\text{C}$ .

Высота расположения над уровнем моря  $H$  для Бреста – 130 м, Гомеля – 140 м; Витебска – 160 м; Гродно – 150 м; Минска – 230 м; Могилева – 180 м.

Поправочный коэффициент, учитывающий изменение воздуха в зависимости от высоты  $H$  расположения аэродрома над уровнем моря, определяется как

$$k_n = 1 + 0,09 \frac{H}{300}, \quad (1.7)$$

т. е. длина ИВПП (или КПБ) увеличивается на 9% по сравнению с длиной ИВПП (или КПБ) в стандартных условиях на каждые 300 м увеличения высоты расположения аэродрома над уровнем моря.

Поправочный коэффициент  $k_i$ , учитывающий увеличение длины ИВПП в случае разбега самолета на уклон, вычисляется дифференцированно по группам самолетов:

$$\bar{M}_{x(y)}^2, \quad (1.8)$$

где  $i_{\text{ср}}$  – средний уклон ИВПП (отношение разности отметок начала и конца ИВПП к ее длине), принять равным 0,005;  $\delta$  – норма увеличения длины ИВПП при увеличении продольного уклона, показывающая, на сколько процентов увеличивается длина ИВПП при увеличении среднего продольного уклона полосы на 0,01.  $\delta$  равно 9 для самолетов I группы, 8 – для самолетов II группы, 7 – для самолетов III группы и 5 для самолетов IV группы.

## 3. Определение длины летной полосы для случая посадки самолета в стандартных условиях

Длина ИВПП для посадки в стандартных условиях определяется исходя из следующих предпосылок:

– начало посадочной дистанции должно совпадать с началом ИВПП (рис. 1.2). Посадочной дистанцией называется суммарная длина горизонтальной проекции воздушного участка и пробега самолета при посадке. За начало посадочной дистанции принимается проекция точки, над которой самолет находится на высоте 15 м;

– длина ИВПП должна обеспечивать пробег самолета до его полной остановки.

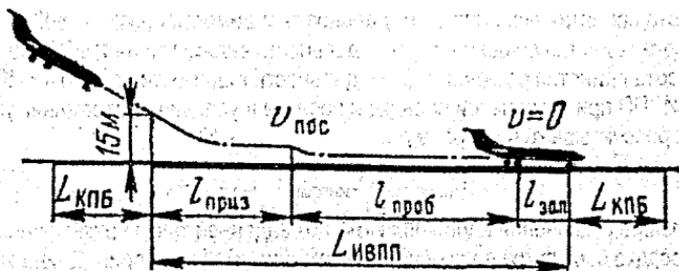


Рис. 1.2. Расчетная схема для определения длины ИВПП при посадке самолета

Для практических расчетов длины ИВПП используется следующая зависимость

$$L_{\text{ивпп}}^0 = 1,67 L_{\text{пос}}^0, \quad (1.9)$$

где  $L_{\text{пос}}^0$  – длина посадочной дистанции самолета при стандартных условиях, которая составляет для Ил-86 – 1500 м; для Ту-154 – 1200 м; для Як-40 – 800 м.

Длина летной полосы для посадки самолетов в стандартных условиях определяется как сумма длины ИВПП и двух КПБ:

$$L_{\text{лл}}^0 = L_{\text{ивпп}}^0 + 2 \cdot 20, \quad (1.10)$$

где 20 – длина концевой полосы безопасности для посадки самолетов, м, имеет искусственное покрытие.

#### 4. Определение длины летной полосы для посадки самолета в расчетных условиях.

При посадке самолета расчетные условия (температура воздуха, высота расположения аэродрома над уровнем моря и средний уклон ИВПП) учитываются с помощью двух поправочных коэффициентов

$$L_{\text{ивпп}} = L_{\text{лл}}^0 \cdot k_{\Delta} \cdot k_t, \quad (1.11)$$

где  $k_{\Delta}$  – поправочный коэффициент, учитывающий одновременно влияние расчетной температуры воздуха и высоты расположения аэродрома;  $k_t$  – поправочный коэффициент на средний уклон ИВПП, рассчитываемый по формуле (1.8).

Коэффициент  $k_{\Delta}$  определяется по формуле

$$k_{\Delta} = \frac{1}{\Delta}, \quad (1.12)$$

где  $\Delta$  – относительная плотность воздуха, рассчитываемая по формуле

$$\Delta = 0,379 \cdot \frac{p}{273 + t_{\text{расч}}}, \quad (1.13)$$

где  $t_{\text{расч}}$  – расчетная температура воздуха, °С;  $p$  – расчетное давление воздуха определяется в зависимости от высоты расположения аэродрома над уровнем моря  $H$  по шкале стандартной атмосферы, т. е.

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{5,256}, \quad (1.14)$$

где  $p_0$  – давление воздуха на уровне моря – 760 мм рт. ст.;

В зависимости от оборудования аэродрома комплексом средств для автоматического захода самолетов на посадку устанавливаются **три категории метеоминимумов**:

I – высота принятия решения 60 м, дальность видимости на ИВПП 800 м;  
 II – высота принятия решения 60-30 м, дальность видимости на ИВПП 800-400 м;  
 III – высота принятия решения < 30 м, дальность видимости на ИВПП < 400 м.  
 Длина ИВПП при визуальной посадке и посадке в условиях метеоминимумов II и III категорий рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ИВПП(III)}} = L_{\text{ИВПП(II)}} = L_{\text{д.г.}}^0 \cdot \frac{k_1}{\Delta} \quad (1.15)$$

Наибольшие отклонения вдоль оси ИВПП от заданной точки приземления имеют место при посадке самолетов в условиях метеоминимума I категории. Длина ИВПП, обеспечивающая безопасность посадки самолета в условиях метеоминимума I категории, принимается наибольшей из двух величин:

$$L_{\text{ИВПП}} = 1,15L_{\text{ИВПП(II)}} \text{ или } L_{\text{ИВПП}} = L_{\text{ИВПП(II)}} + 300 \quad (1.16)$$

### 5. Оценка влияния метеорологических факторов и условий эксплуатации на длину летной полосы.

Влияние встречного ветра на длину ИВПП может быть учтено с помощью поправочного коэффициента

$$k_w = \frac{V_{\text{отр}}^2}{(V_{\text{отр}} + \omega \cdot \cos \alpha)^2} < 1, \quad (1.17)$$

$$V_{\text{отр}} = \frac{V_{\text{отр}}^0}{\sqrt{\Delta}}, \quad (1.18)$$

где  $V_{\text{отр}}$  – необходимая скорость отрыва самолета при существующем состоянии атмосферы, м/с;  $V_{\text{отр}}^0$  – скорость отрыва при стандартных условиях, м/с;  $\Delta$  – относительная плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – скорость встречного ветра, м/с;  $\alpha$  – угол, составляемый направлением ветра и взлета самолета, градусы.

С учетом встречного ветра необходимая длина ИВПП ориентировочно равна

$$L_{\text{ИВПП}}^* = L_{\text{ИВПП}}^{\phi} \cdot k_w, \quad (1.19)$$

где  $L_{\text{ИВПП}}^{\phi}$  – длина ИВПП, м, с учетом фактических значений температуры и давления воздуха.

Влияние прочности грунта летной полосы на длину ГВПП может быть учтено с помощью поправочного коэффициента  $k_f$

$$L_{\text{ГВПП}} = L_{\text{ИВПП}}^* \cdot k_f, \quad (1.20)$$

где  $L_{\text{ГВПП}}$  – длина ГВПП для расчетных местных условий расположения аэродрома, м;  $L_{\text{ИВПП}}^*$  – длина ИВПП, м;  $k_f$  – поправочный коэффициент, учитывающий прочность грунтовой поверхности и  $k_f=1,2$  для взлета и  $k_f=1,1$  для посадки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практические расчеты с использованием приведенных методик показали, что:

– в стандартных условиях длина ИВПП для взлета составила: 2534 м – для Ил-86, 2025 м – для Ту-154 и 1340 м – для Як-40. Для посадки эти значения получены следующими – 2545, 2044 и 1336 м соответственно;

– в расчетных условиях длина ИВПП для взлета первой группы самолетов (Ил-86) колеблется от 3260 м для Бреста до 3320 для Минска, для второй группы (Ту-154) – от 2580 до 2630 м и для третьей (Як-40) – от 1700 до 1750 м. Длина ИВПП для посадки в среднем на 3-5% менее приведенных значений для взлета;

– учет влияния метеорологических факторов и условий эксплуатации на длину летной полосы позволил получить следующие значения: 2930-2960 м – для самолетов первой группы; 2320-2340 м – второй и 1535-1550 м – третьей группы.

Для условий Беларуси длина взлетно-посадочных полос отличается от стандартной в большую сторону примерно на 20-30% и зависит от высоты расположения аэродрома над уровнем моря, расчетной температуры воздуха и среднего уклона взлетно-посадочной полосы.

Анализируя все полученные результаты, можно рекомендовать следующие длины ИВП:

- для самолетов I группы (Ил-86) – 3300 м;
- для самолетов II группы (Ту-154) – 2700 м;
- для самолетов III группы (Як-40) – 1800 м.

Полученные расчетом длины ГВП 1300-2600 м позволят без проблем принимать аэродромам всех классов самолеты IV группы и позволять совершать вынужденную посадку самолетам I-III групп.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 3.03.03-97. Аэродромы. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997. – 22 с.
2. Изыскания и проектирование аэродромов. Справочник. / Под ред. Г.И. Глушкова и Д.А. Могилевского. – М.: Транспорт, 1979. – 327 с.

УДК 69.058.3:528.482

Фолитар Р.Г.

Научный руководитель: доц. Зеленский А.М.

#### ОСОБЕННОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ИСПЫТАНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА «ВИКТОРИЯ» В Г. БРЕСТЕ

Спортивный комплекс «Виктория» расположен между ул. Ленинградская и ул. Янки Купалы в г. Бресте, его площадь более 5 тыс.м<sup>2</sup>. Комбинированное покрытие главной спортивной арены запроектировано в виде квадратной структурной плиты, ломаной по диагонали и соединённой в коньке. Соединение обеспечивает скат в 15° по направлению к ул. Ленинградская и ул. Янки Купалы. Покрытие поддерживается в средней части двумя металлическими арками (рис.1), параллельными ул. Ленинградская и ул. Янки Купалы. Пролёт арок 80,6 м, расстояние между ними 11,2м.

В задачу геодезических измерений входило определение горизонтальных и вертикальных деформаций при испытании арок (т.е до нагрузки, с частичной и полной нагрузкой).

Для испытания арок (до их монтажа) к ним были прикреплены визирные цели-марки.

Марки выполнялись на ламинированном картоне с белым фоном. Они могут крепиться в точках наблюдений при помощи клея (например, силикона, который крепит марки одинаково прочно, как к металлическим конструкциям, так и к бетонным). В центре марки наносится визирная цель в виде креста (рис.2). Там же подписывается номер марки.