# Практическое занятие №3

# Определение величины пропускной способности взлетно-посадочных полос

Пропускная способность ВПП - это способность элементов аэропорта обслуживать в единицу времени определенное количество пассажиров самолетов (пассажиров, грузов) с соблюдением установленных требований к безопасности полетов и уровню обслуживания пассажиров.

Существуют теоретическая, фактическая и расчетная пропускные способности ВПП.

Рассмотрим теоретическую и расчетную пропускную способность.

# Теоретическая пропускная способность

Теоретическая пропуская способность определяется в предположении того, что взлетно-посадочные операции на аэродроме осуществляются непрерывно и через одинаковые интервалы времени, равные минимальным допустимым интервалам, установленным из условий обеспечения безопасности полетов. Для определения теоретической пропускной способности ВПП необходимо знать время занятости ВПП одним самолетом, совершающим взлет и посадку.

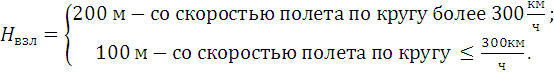
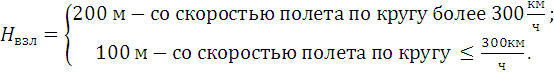
Время занятости ВПП находится с учетом правил производства полетов по приборам ППП (правила полета по приборам) и ПВП (правила визуального полета).

Правила визуальных полётов, ПВП — совокупность авиационных правил и инструкций, предусматривающих ориентирование экипажа и выдерживание безопасных интервалов путём визуального (зрительного) наблюдения за линией естественного горизонта, ориентирами на местности и другими [воздушными судами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%BE).

Противоположностью ПВП являются [правила полётов по приборам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82%D0%BE%D0%B2_%D0%BF%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BC) ППП, при применении которых местонахождение, пространственное положение и параметры полёта воздушного судна определяются по показаниям пилотажно-навигационных приборов, а безопасные интервалы выдерживаются по указанию диспетчера органа [Управления воздушным движением](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%BD%D1%8B%D0%BC_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC).

Время занятости складывается из:

1. занятие ВПП при взлете - начало руления самолета на исполнительный старт с места ожидания, расположенного на рулежной дорожке;
2. освобождение ВПП после взлета - момент пролета самолетом торца полосы ВПП при полетах по ПВП (правилам визуальных полетов) или момент набора высоты Нвзл. при полетах по ППП:

 (1)

Полёт по кругу («полёт по коробочке») — полёт по установленному маршруту (обычно прямоугольному) в районе аэродрома для отработки взлёта, захода, расчёта на посадку и посадки, а также для ухода и подхода к аэродрому. Является важной частью [захода на посадку](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B4_%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D1%83) и УТП (учебно-тренировочных полётов)

3) занятие ВПП при посадке - момент достижения самолетом высоты принятия решения;

4) освобождение ВПП после посадки - момент выруливания самолета за боковую границу ВПП на рулежную дорожку.

1). Таким образом, время занятости ВПП при взлете определяется как:

Твзл. = t,рул. + tст. +tразб. + tнв  (2).

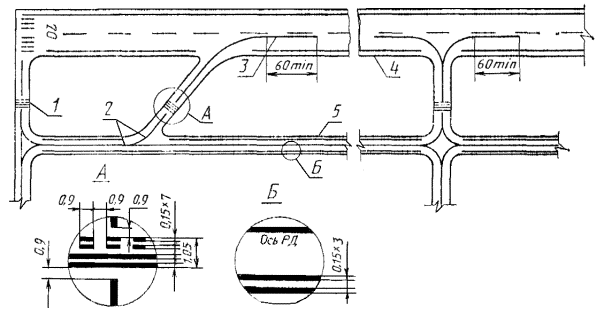
 (2),

где  - время руления с места ожидания, расположенного на рулежной дорожке, на исполнительный старт;

 - время на операции, выполняемые на исполнительном старте;

 - время разбега;

 - время разгона и набора установленной высоты .



Операции на исполнительном старте:

1. Самолет выравнивается по осевой линии разметки полосы и ставится на тормоз.
2. Закрылки приводятся во взлетное положение.
3. Включаются фары (Большой свет).
4. КВС запрашивает разрешение на взлет.
5. После получения разрешения на взлет, борт инженер переводит [р](http://www.bolshoyvopros.ru/web/url.cgi?l=https%3A%2F%2Fwww.avsim.su%2Fwiki%2F%25D0%25A0%25D0%25A3%25D0%2594&src=a&cs=e7e9b6cd25d8e4eb066de56592b2bc9c&id=5930379)ежим управления двигателя на взлетный режим, отпускаются тормоза, самолет начинает разгон по полосе.

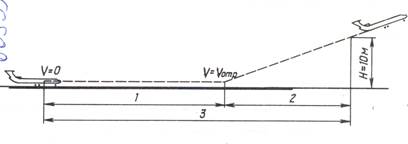


Схема взлета самолета:

1 – разбег; 2 – разгон с набором высоты; 3 – взлетная дистанция

Длиной разбега называют расстояние, проходимое самолетом от места старта до точки в которой самолет достигает скорости отрыва.

После отрыва от земли начинается следующий этап взлета: разгон самолета с набором высоты 10 м и одновременным увеличением скорости полета.

Взлетной дистанцией -называется расстояние по горизонтали, проходимое самолетом от момента страгивания с линии старта до момента набора высоты 10 м (над уровнем ВПП относительно точки отрыва самолета) с одновременным достижением скорости не менее скорости, безопасной для последующего набора высоты.

2). Время занятости ВПП при посадке определяется как:

Tпос=tпл + tпроб+ t’’рул (или tгл) (3),

где  - время движения самолета от начала планирования с высоты принятия решения до момента приземления;

Высотой принятия решения (ВПР)- называют установленную относительную высоту, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случаях, если до достижения этой высоты КВС не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку и если положение ВС в пространстве относительно заданной траектории полета не обеспечивает безопасность посадки.

 - время пробега от момента приземления до начала отруливания на рулежную дорожку;

 - время отруливания за боковую границу ВПП;

 - время снижения по глиссаде.

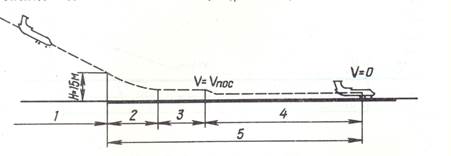


Схема посадки самолета: 1 – снижение по глиссаде; 2 – выравнивание; 3 - выдерживание; 4 – пробег; 5 – посадочная дистанция

1). На некоторой высоте самолет входит в глиссаду, по которой происходит дальнейший его полет. Этот этап посадки носит название снижения по глиссаде или планирования по глиссаде.

Глисса́да (от [фр.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%83%D0%B7%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) glissade — букв. «скольжение»; производное от glisser — «скользить») — траектория полёта летательного аппарата, по которой он снижается, в том числе — непосредственно перед посадкой. Стандартная глиссада начинается на высоте 400 метров и заканчивается на высоте 15 метров.

2). Далее следует этап выравнивания. На этапе выравнивания самолету постепенно придается посадочный угол атаки, происходит уменьшение угла наклона его траектории полета, а вертикальная и горизонтальная составляющие скорости достигают значений, обеспечивающих мягкое приземление самолета.

3). В конце участка выравнивания иногда имеется небольшой участок выдерживания, на котором траектория полета самолета имеет очень небольшой наклон (0,5-0,8 градусов). Выдерживание самолета необходимо для того, чтобы самолет приземлился с наименьшей возможной скоростью. Когда подъемная сила вследствие снижения скорости полета станет равной силе тяжести самолета или даже несколько меньше ее, самолет начинает проваливаться (парашютиро­вать) и, наконец, касается колесами земли (приземляется).

Горизонтальная составляющая скорости самолета в момент касания колесами земли называется посадочной скоростью самолета. С этого момента начинается последний этап посадки самолета - пробег.

Длиной пробега называют расстояние, пройденное самолетом от точки приземления до его полной остановки.

Посадочная дистанция - расстояние по горизонтали, проходимое самолетом при посадке с момента пролета высоты 15 м (от уровня ВПП относительно точки приземления самолета) до момента его полной остановки после пробега. Обычно до окончания пробега самолет отруливает с ВПП при некоторой скорости движения.

Далее определим минимальные теоретические временные интервалы между следующими друг за другом взлетно - посадочными операциями. Для этого необходимо учитывать правила УВД:

* 1. самолет начинает выруливать с места ожидания на исполнительный старт, когда предыдущий взлетающий самолет начинает разбег;
  2. самолет начинает выруливать с места ожидания на исполнительный старт, когда приземляющийся самолет пролетает перед рулежной дорожкой, на которой размещается место ожидания;
  3. самолет начинает разбег в момент освобождения ВПП предыдущим взлетающим или садящимся самолетом;
  4. к моменту пролета высоты принятия решения садящимся самолетом ВПП должна быть свободна;
  5. минимальное расстояние между снижающимися самолетами на глиссаде при полетах по ПВП - 2 км, при полете по ППП - 5 км;
  6. минимальный временной интервал между последовательными взлетами или посадками принимается не менее 45 с.

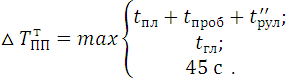
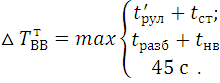
Таким образом, минимальный временной интервал между смежными взлетно-посадочными операциями определяется как наибольший из следующих расчетных условий:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1) между последовательными взлетами: | 2) между  последовательными  посадками: | 3) между посадкой и последующим взлетом: | 4) между взлетом и последующей посадкой: |
| (4) | (5) | (6) | (7) |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | { | t,рул. + tст. |  |
| ΔТТВВ = | max | tразб. + tнв | (4) |
|  |  | 45 c. |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | { | tпл + tпроб+ t’’рул |  |
| ΔТТ ПП = | max | tгл | (5) |
|  |  | 45 c. |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | { | t,рул. + tст. |  |
| ΔТТ ПВ = | max | tпроб+ t’’рул | (6) |
|  |  | 45 c. |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | { | tразб. + tнв + tпл |  |
| ΔТТ ВП = | max | tгл - ΔТТ ПВ | (7) |
|  |  | 45 c. |  |

где  - минимальный интервал времени между следующими друг за другом посадками самолетов, определяемый из условий минимально допустимых расстояний между самолетами на участке снижения по глиссаде;

Таким образом, теоретическая пропуская способность ВПП при эксплуатации однотипных самолетов для случаев:

ПТ ВВ = 3600/ΔТТВВ (8).

ПТ ПП = 3600/ΔТТ ПП (9).

ПТ ПВ = 3600/ΔТТПВ (10).

ПТ ВП = 3600/ΔТТВП (11).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1) последовательные взлеты | 2) последовательные посадки | 3) посадка - взлет | 4) взлет - посадка |
| ; (8) | ; (9) | ; (10) | . (11) |

# Самолет Л-410

Исходные данные

|  |  |
| --- | --- |
| длина разбега в стандартных условиях  l (O) разб. длина разбега в стандартных условиях | 630 м |
| l (0) проб – длина пробега в стандартных условиях | 650 м |
| длина пути руления самолета от места ожидания на предварительном старте до места исполнительного старта l 1 рул.. | 125 м |
| расстояние от торца ВПП до точки приземления l приз | 300 м |
| расстояние от БПРМ (ближнего приводного радиомаяка) до торца ВПП | 1000 м |
| скорость руления | 7 м/с |
| V 2 рул. скорость отруливания с ВПП на РД. | 7 м/с – обычная соединительная РД  22 м/с – РД скоростного хода |
| скорость отрыва в стандартных условиях | 47,22 м/с (170 км/ч) |
| вертикальная составляющая скорости на траектории начального набора высоты | 5 м/с |
| скорость планирования | 175 км/ч (48,61 м/с) |
| посадочная скорость | 165 км/ч (45,83 м/с) |
| V полета по кругу | 220 км/ч |
| t ст время на операции на исполнительном старте | 28 с |
| угол примыкания РД к ВПП α | 90 градусов – обычная РД  40 градусов – РД скоростного хода |
| ширина ВПП (аэродом класса «Г») | 35 м |
| Kt | 1.07 |
| Kp | 1.09 |
| Ki | 1.07 |
| Δ | 0.94 |

Примечание: (перевод км/ч в м/с)

Пример: 175 км/ч = 175000м/ч=175000/3600(м/с) = 48.6 м/с

Для этого определим временные характеристики взлетно-посадочных операций. В соответствии с формулой (2):

;

 (12),

где  - длина пути руления самолета от места ожидания на предварительном старте до места исполнительного старта,

 - скорость руления.



 (13),

где  - длина разбега в стандартных условиях,

 - скорость отрыва в стандартных условиях.

.

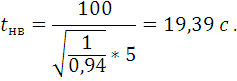
При полетах по ППП до набора :

 (14),

где  - высота освобождения ВПП,

 - вертикальная составляющая скорости на траектории начального набора высоты.

Так как скорость полета по кругу для рассматриваемого самолета - 220 км/ч (что меньше 300 км/ч), то  м.



По формуле (12) имеем:

.

В соответствии с формулой (3):

Tпос=tпл + tпроб+ t’’рул (или tгл)

При полетах по ППП:

 (15)

 =99,73 c.

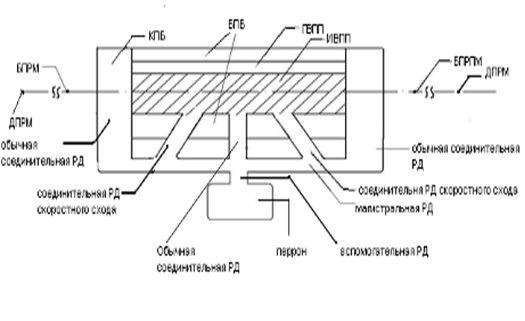
 (16),

где  - расстояние от БПРМ до торца ВПП,

 - расстояние от торца ВПП до точки приземления,

 - скорость планирования,

 - посадочная скорость.



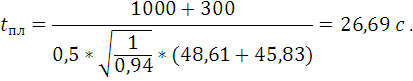
Приводная радиостанция (ПРС), приводной радиомаяк (ПРМ) — наземный [радиопередатчик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA) ненаправленного излучения, размещённый в точке с известными координатами и предназначенный для определения [курсового угла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB) воздушного судна, а также трансляции речевых сообщений по каналу «земля — борт».

Приводная радиостанция излучает незатухающие высокочастотные колебания, модулированные сигналом опознавания (идентификации радиомаяка) или речевым сообщением. Сигналы опознавания передаются [кодом Морзе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%B1%D1%83%D0%BA%D0%B0_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B7%D0%B5) частотно-модулированными колебаниями. [Диапазон рабочих частот](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BD_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82) ПРС охватывает участок от 120 [кГц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%93%D1%86) до 1950 кГц.

Приводные радиостанции входят в обязательный комплект наземного [радионавигационного](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) оборудования многих аэродромов в составе оборудования системы посадки (ОСП). Включает в себя по две станции для каждого курса посадки — дальний приводной радиомаяк (ДПРМ) и ближний приводной радиомаяк (БПРМ). Каждое направление посадки имеет особенные позывные ДПРМ и БПРМ.

ДПРМ размещается приблизительно в 4000 [м](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80) от торца [ВПП](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B7%D0%BB%D1%91%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%B0), БПРМ — приблизительно в 1000 м от торца ВПП. Дальность действия ДПРМ при работе на привод по [радиокомпасу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D1%81) составляет не менее 150 [км](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80), БПРМ — не менее 50 км. Мощность излучения устанавливается такой, чтобы погрешность определения курсовых углов с помощью радиокомпаса на борту воздушного судна не превышала ±5º.





 (17),

-расстояние от торца ВПП до точки пересечения осей ВПП и РД, на которую отруливает самолет;

 - расстояние от точки начала траектории схода на РД до точки пересечения осей ВПП и РД;

 - скорость отруливания с ВПП на РД.

(18),

где  - угол примыкания РД к ВПП,

 - радиус схода самолета с ВПП на РД,

 (19), 

(20),

где  - коэффициент, учитывающий снижение скорости.

 (21), где α рад. = α\* π /180

 (22),

Где  - ширина ВПП.

Так как аэродром класса Г, то . Рассмотрим 2 случая:

1. самолет отруливает с ВПП на обычную соединительную РД.

Тогда  = 7 м/с,  =1, .

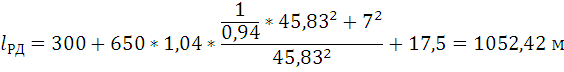
По формуле (22) получаем:

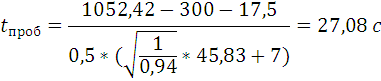
 *м*

В соответствии с формулой (18) имеем:

 *м*

Исходя из формулы (19) находим:





По формуле (21) находим:



Подставим полученные результаты в формулу (20) имеем:

=.

Следовательно, из формулы (3) получаем:

Tпос =26.69+27.08+3.93 (или 99.73) = 57,7 (или 99.73)

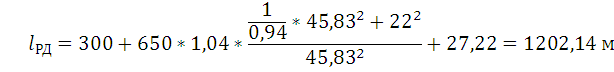
1. самолет отруливает с ВПП на соединительную РД скоростного схода.

Тогда  =22 м/с,  =0,9,.

По формулам (22), (18), (19) соответственно имеем:

 *м*.

 *м.*



По формуле (17) получаем:

.

Т.к. РД примыкает к ВПП под углом , то .

По формуле (21):

.

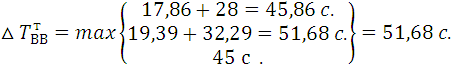
Таким образом, подставляя полученные данные в формулу (20), получаем:

=.

В результате получаем:

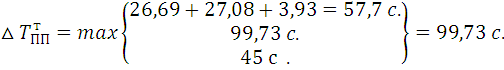
Tпос=26,69+25.26+2.64 (или 99.73) = 54.59 (или 99.73)с.

По формуле (4) определим интервал между последовательными взлетами. Этот временной интервал рассчитывается одинаково как для обычной соединительной РД, так и скоростной:

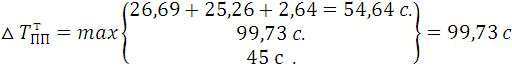


По формуле (5) определим интервал между последовательными посадками:

1) для обычной СРД:



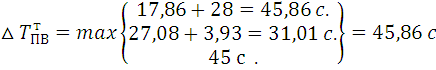
2) для СРД скоростного схода:



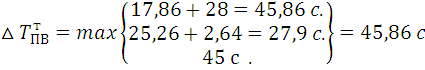
 *-* как для обычной, так и для скоростной РД.

По формуле (6) определим интервал между посадкой и последующим взлетом:

1) для обычной СРД:

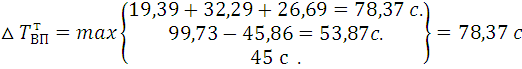


2) для СРД скоростного схода:



 - как для обычной, так и для скоростной РД.

По формуле (7) определим интервал между взлетом и последующей посадкой. Этот временной интервал рассчитывается одинаково как для обычной соединительной РД, так и скоростной:



Таким образом, на основе полученных данных получаем теоретическую пропускную способность ВПП при эксплуатации самолета Л-410 для случаев:

1) последовательные взлеты:

=69,66  (8)

ПТ ВВ = 3600/51.68 = 69,66 ВС/ч (8).

2) последовательные посадки:

 (9)

ПТ ПП = 3600/99.73 = 36,097 ВС/ч (9).

3) посадка - взлет

 (10)

ПТ ПВ = 3600/45.86 = 78.5 ВС/ч (10).

4) взлет - посадка (11)

ПТ ВП = 3600/78.37 = 45.94 ВС/ч (11).