УДК 656.021.2: 351.814.331.3

Храмов Роман Мансурович,
Магистрант 3 курс,
факультет «Организация воздушного движения и использования воздушного пространства» 25.04.03 «Аэронавигация» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»,
Россия город Санкт-Петербург

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПОЗИЦИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ОВД В ЗОНЕ ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ НА АЭРОДРОМЕ КАЗАНЬ

Аннотация: *статья посвящена разработке рекомендаций связанные с принятием решения персоналом УВД филиала «Татаэронацигация» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» г.Казань, при выдаче разрешений о занятии исполнительного старта вылетающему воздушному судну в зависимости от удаления прилетающего.*

Объектом исследования являются процессы движения вылетающих ВС на ВПП и прилетающих ВС на предпосадочной траектории. По результатам исследований выполнен расчет допустимых удалений прилетающих воздушных судов при выдаче разрешения исполнительного старта вылетающим. Предлагаются дополнения в технологию работы диспетчера СДП для обеспечения безопасных интервалов между воздушными судами на случай ухода на второй круг прилетающего воздушного судна.

Результаты курсового проекта могут быть применены для совершенствования процессов принятия решений диспетчером СДП на аэродроме Казань.

Ключевые слова: *Расчетная позиция, минимально допустимых удалений, параметры логарифмической модели зависимости, параметры полиномиальной модели зависимости, Инструкция по производству полетов.*

Annotation: *The article is devoted to The course project addressed issues related to the decision by the air traffic control personnel of the branch of Tataeronatsigatsiya FSUE State Corporation for Air Traffic Management, Kazan, when issuing permits to take an executive start to a departing aircraft depending on the arrival of the aircraft.*

The object of study is the processes of movement of departing aircraft on the runway and arriving aircraft on a pre-landing trajectory. According to the results of the research, the calculation of permissible departures of arriving aircraft was performed upon issuance of permission for an executive start to departing. Additions are proposed to the technology of the tower dispatcher to ensure safe intervals between aircraft in case of departure to the second circle of an arriving aircraft.

The results of the course project can be applied to improve decision-making processes by the tower manager at the Kazan airport.

Keywords: *Estimated position, minimum allowable deletions, parameters of the logarithmic model of dependence, parameters of the polynomial model of dependence, Instructions for operations.*

Цель исследования движения воздушных судов в районе аэродрома Казань являются исследование ситуаций, при которых персонал ОВД, с учетом влияния ряда факторов, может безошибочно принимать решения о выдаче команд экипажам вылетающих и заходящих на посадку воздушных судов. К основным факторам, влияющим на принятие решений персоналом ОВД можно отнести: категорию воздушного судна, направление и скорость ветра, скорость захода на посадку, время занятости ВПП вылетающими ВС при выруливании и взлете. Обеспечение безопасных интервалов между вылетающими и заходящими на посадку ВС является главным условием организации расчетных позиций. В настоящее время в воздушном пространстве РФ отмечается тенденция к увеличению воздушных перевозок, что в свою очередь влечет увеличение количества взлетов и посадок в районе аэродрома и соответственно приводит к уменьшению интервалов между прилетающими и вылетающими ВС.

Расчетная позиция – это такое взаимное месторасположение воздушных судов, при котором гарантируются безопасные интервалы для взлета и посадки. Расчетная позиция может выражаться во временном или линейной значении и определяется, как местоположение заходящего на посадку ВС, в момент выдачи команды на занятие исполнительного старта вылетающему. Обеспечение безопасных интервалов между вылетающими и заходящими на посадку ВС, является главным условием организации расчетных позиций.

Среднее время занятости ВПП вылетающим ВС определяется по формуле 1.

$$m_X = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \ , \qquad (1)$$

где:

m_X - среднее время занятости ВПП вылетающим ВС;

n - количество замеров времени;

x_k -время, затрачиваемое ВС от разрешения диспетчером на занятие исполнительного старта до момента начала разбега

Стандартное отклонение σ_X случайного интервала времени занятости ВПП от среднего значения вычисляется по формуле:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{k=1}^{n} (x_k - m_x)^2} \ , \qquad (2)$$

В частности, среднее время занятости ВПП для вылетающего ВС Airbus 320 при МК 111° (ВПП 11). Данные для выполнения расчетов представлены в таблице 20:

$m_{X1} = 0{,}70667\, мин.$

Стандартное отклонение случайного интервала времени занятости ВПП для вылетающего ВС Boeing 737-800 при МК 252° (ВПП 25):

$\sigma_{X1} = 0{,}18768$ мин.

Результаты расчета среднего времени занятости ВПП m_X и стандартное отклонение σ_X для типа Airbus 320 отображены в таблице 20

Среднее время занятости ВПП Airbus 320 при МК 111° (ВПП 11)

Рассмотрим математическую модель для определения минимально допустимых удалений прилетающих воздушных судов. Она основывается на допущении о нормальном законе распределения случайной величины:

$$Z = Y - X \quad (3)$$

где:

Y – случайная величина оставшегося времени полета прилетающего ВС до рубежа принятия решения (РПР);

X – случайная величина времени занятости ВПП вылетающим ВС.

Вероятность ухода на второй круг:

$$Po = P\{Y < X\} = P\{Z \leq 0\} \quad (4)$$

По теореме о числовых характеристиках параметры распределения случайной величины Z определяется следующими соотношениями [9]:

$$Mz = My - Mx \quad (5)$$

$$\sigma_Z \equiv \sqrt{\sigma_Y{}^2 + \sigma_X{}^2} \quad (6)$$

Для нормальной функции распределения F(t) существуют таблицы, так называемой нормальной функции распределения [9]:

$$\Phi^* \left\{ \frac{Z - m_Z}{\sigma_Z} \right\} \quad (8)$$

$$t = \frac{Z - m_Z}{\sigma_Z} \quad (9)$$

Используя табличную нормальную функцию распределения Ф* можно подобрать такое значение аргумента t, при котором Ф* равно 0,05, это значение = - 1,645.

Приравняем t = - 1,645, при Z=0:

$$\frac{-Mz}{\sigma_Z} = -1{,}645 \quad (10)$$

Подставим в данное уравнение соотношения параметров случайной величины (форм. 5, 6):

$$\frac{\sqrt{\sigma_Y{}^2 + \sigma_X{}^2}}{My - Mx} = 0{,}6079 \qquad (11)$$

Подставим в полученную модель параметры линии тренда и получим окончательный вид математической модели №2:

$$\frac{\sqrt{\left[b_0 + b_1 \cdot \ln(D)\right]^2 + \sigma_X{}^2}}{a_0 + a_1 D + a_2 D^2 - Mx} \le 0{,}6079 \qquad (12)$$

где:

D – искомое допустимое удаление прилетающего ВС от торца ВПП при выдаче разрешения на занятие исполнительного старта вылетающему ВС;

$Mx, \sigma_X -$ параметры распределения случайной величины X1 времени занятости ВПП вылетающими ВС от разрешения исполнительного до начала разбега;

$a_0, a_1, a_2 -$ параметры полиномиальной модели зависимости среднего значения случайной величины оставшегося времени полета прилетающего ВС от текущего положения на расстоянии D до рубежа принятия решения (до 6 км);

$b_0, b_1 -$ параметры логарифмической модели зависимости стандартного отклонения случайной величины оставшегося времени полета прилетающего ВС от текущего положения на расстоянии D до рубежа принятия решения(РПР) до 4 км;

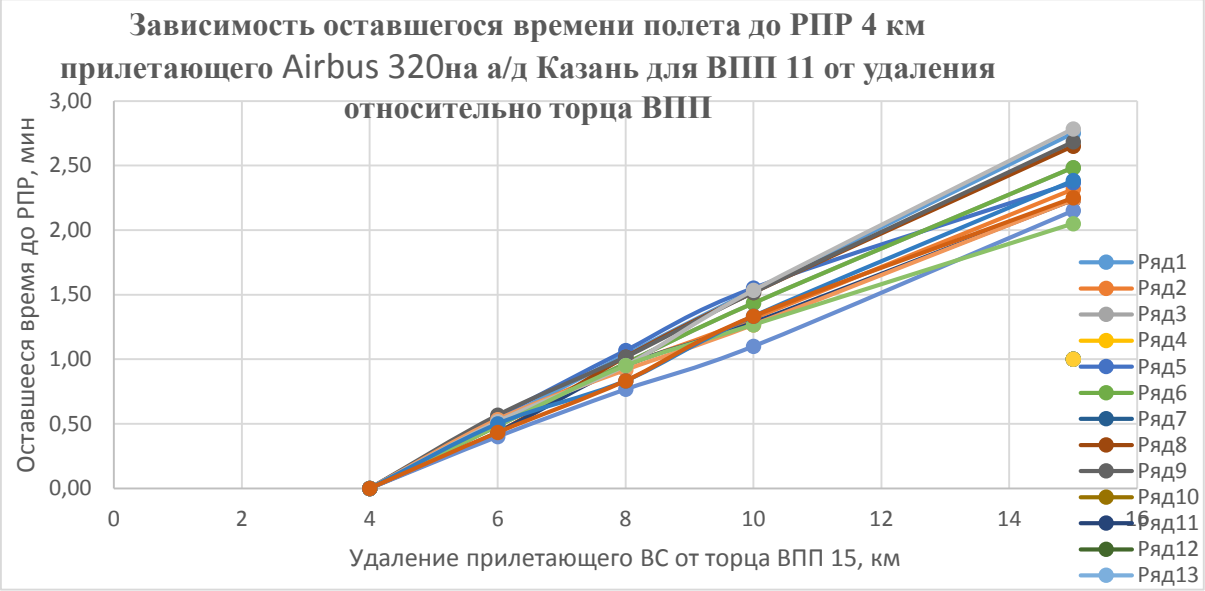

Таблица 1. Зависимость оставшегося времени полета до РПР 4 км прилетающего ВС А320 на а/д Казань для ВПП 11 от удаления относительно торца ВПП

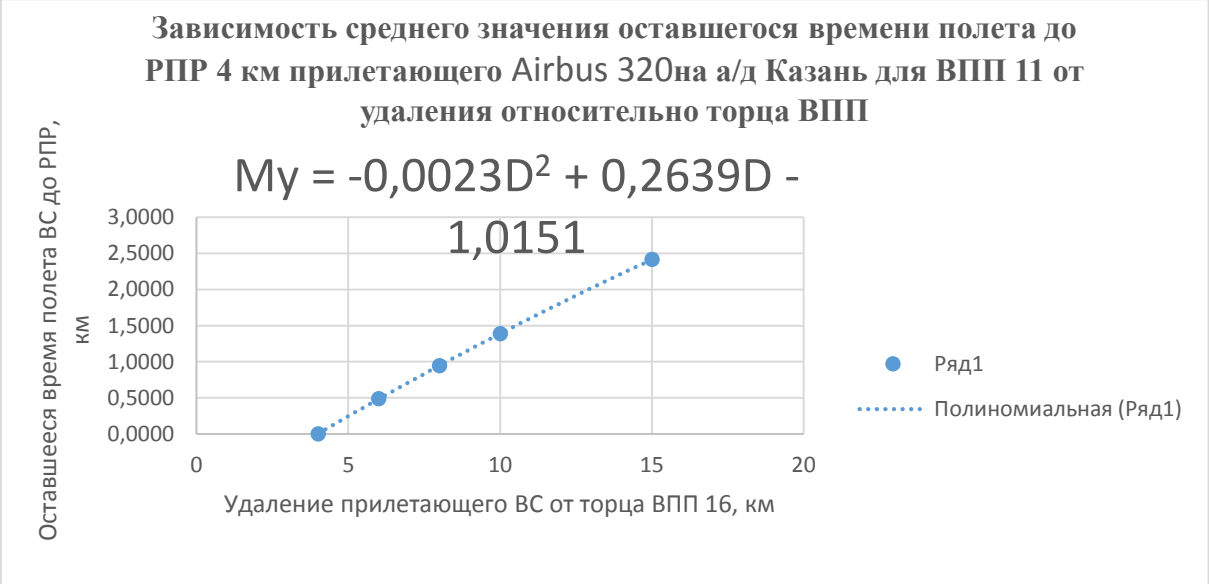

Таблица 2. Зависимость среднего значения оставшегося времени полета до РПР 4 км прилетающего Airbus 320на а/д Казань для ВПП 11 от удаления относительно торца ВПП

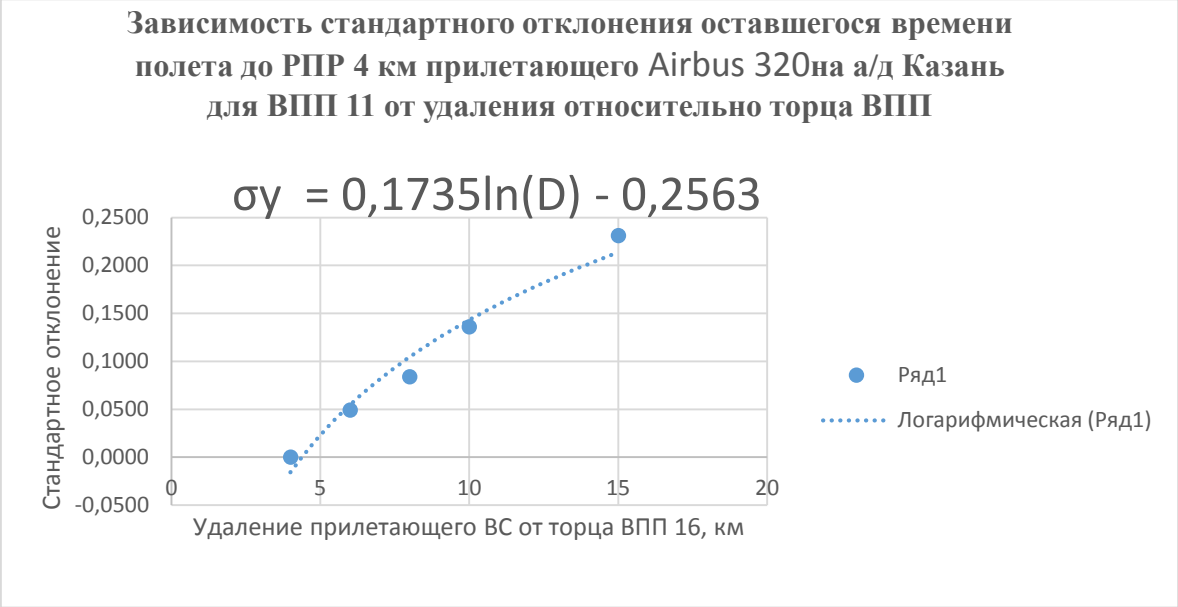

Таблица 3. Зависимость стандартного отклонения оставшегося времени полета до РПР 4 км прилетающего Airbus 320на а/д Казань для ВПП 11 от удаления относительно торца ВПП

мк=	111				
тип ВС	A319,320,321				
	D=15км	D=10км	D=8км	D=6км	D=4км
	15	10	8	6	4
1	0:17:51	0:19:04	0:19:34	0:20:05	0:20:36
2	0:06:31	0:07:31	0:07:53	0:08:19	0:08:50
3	0:21:45	0:22:48	0:23:16	0:23:45	0:24:14
4	0:33:03	0:33:52	0:34:21	0:34:52	0:35:25
5	0:21:45	0:22:48	0:23:16	0:23:45	0:24:14
6	0:51:06	0:52:14	0:52:44	0:53:19	0:53:45
7	0:28:20	0:29:30	0:30:00	0:30:27	0:31:01
8	0:04:51	0:05:48	0:06:08	0:06:39	0:07:05
9	0:10:36	0:11:34	0:11:55	0:12:18	0:12:50
10	0:56:20	0:57:35	0:58:10	0:58:36	0:59:07
11	0:30:32	0:31:35	0:31:55	0:32:17	0:32:41
12	0:03:28	0:04:15	0:04:34	0:05:02	0:05:31
13	0:51:07	0:52:10	0:52:40	0:53:00	0:53:30
14	0:05:32	0:06:27	0:06:57	0:07:21	0:07:47

Таблица 4. Хронометраж времени по удалению ВС относительно порога ВПП

Результаты расчета допустимого удаления по математической модели a2=-0,0023, a1=0,2639, a0=-1,0151, b0=-0,2563, b1=0,1735

№ п/п	тип ВС	МК взл.	РД	Разрешение исполнительного	Пересечение линии предварительного	Занятие исполнительного	Разрешение взлета	Начало разбега
1	Airbus 320	111°	А	0:27:36	0:27:50	0:28:10	0:28:13	0:28:25
2			А	0:58:02	0:58:11	0:58:30	0:58:56	0:59:13
3			А	0:08:30	0:08:50	0:09:00	0:09:13	0:09:31
4			А	0:09:33	0:09:40	0:09:59	0:10:03	0:10:15
5			А	0:51:14	0:51:25	0:51:36	0:51:48	0:52:04

Таблица 5. Хронометраж времени движения вылетающих ВС на ВПП 11 для Airbus 320

Находим Mx=0,706667, σx=0,187676

На основании построенного семейства графиков и найденных дополнительных параметров произведем расчет с использованием нашей математической модели для типов ВС (Airbus 320). В результате построения графиков среднего значения и стандартного отклонения оставшегося времени полета получили коэффициенты аппроксимации (a2=-0,0023, a1=0,2639, a0=-1,0151, b0=-0,2563, b1=0,1735). Подставили данные коэффициенты в формулу (12) и произвели вычисления.

Результаты расчета для прилетающего Airbus 320 и вылетающего Airbus 320 приведены в **таблице 6**

A319,320,321	
D	G
4	-0,19836
5	-0,52453
6	-1,35488
7	26,60073
8	1,543024
9	0,856846
10	0,614637
11	0,48906
12	0,411476
13	0,35844
14	0,319717
15	0,29011
10,1	0,598642
10,11	0,597096
10,01	0,612992
10,05	0,606515

Таблица 6. Результаты расчета для прилетающего Airbus 320 и вылетающего Airbus 320

Из полученных результатов видно, что искомое удаление D находится в пределах 10,05 км и самое близке к 0,6079 согласно наших вычислений и формулы (12). Рекомендованные значения допустимых удалений прилетающих ВС при выдаче разрешения исполнительного старта для аэродрома Казань для ВПП 11 округляем до целых значений в наибольшую сторону и получаем 11 км. Данные расчеты производились с использованием средств автоматизации приложения Microsoft Office Excel. На основании выполненных расчетов с одним ВС можно расчитать подобные позиции для самых распространённых типов воздушных судов, эксплуатируемых на данном аэродроме при принятии решения диспетчером СДП о выдаче разрешения исполнительного старта вылетающему ВС и в дальнейшем пользоваться разработанными таблицами допустимых удалений прилетающих ВС на ВПП 11 и от сочетания типов ВС.

После проведенных исследований и расчетов рассчитаны допустимые удаления для прилетающих ВС при которых вылетающему ВС можно дать разрешение на занятие исполнительно старта

Список использованной литературы:

1. Инструкция по производству полетов в районе аэродрома «Казань», ОАО «Международный аэропорт Казань», Казань, 2019.
2. **Алёшин, В.И., Бабаев, Н.В., Крыжановокий, Г.А. и др.** Методические рекомендации по организации управления потоками прилетающих и вылетающих воздушных судов в районе аэродрома [Текст] / В.И. Алёшин, Н.В. Бабаев, Г.А. Крыжановский и др. - М.: Воздушный транспорт, 1993. - 123 с.
3. **Алешин А.В., Алешин В.И., Крыжановский Г.А.** Вероятностные математические модели для определения расчетных позиций воздушных судов в системе УВД при взлете и посадке. В кн.: "Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации", №4 (13), Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2016, С. 97-107. Тираж 500 зкз.
4. Технология работы диспетчерского пункта СДП/ДПР, ДПК/ПДП, ДПП/МДП аэродрома Казань, 2019.