

УДК 629.7.054.07

## СПОСОБ УТОЧНЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ПО ТЕКУЩИМ ДАННЫМ

*ГАВРИЛЕНКО Юлия Валентиновна, к. т. н., доцент,  
ЗАЙЦЕВА Наталия Александровна, д. т. н., профессор,  
КАЛИНИНА Инна Викторовна, к. т. н., доцент  
ПАО «Московский институт электромеханики и автоматики»  
E-mail: inbox@aomiea.ru*

*В данной статье описывается способ уточнения расписания в процессе полета по маршрутам. Приводятся результаты математического моделирования с изменением текущих условий полета. Оценивается точность расчета расписания с использованием предлагаемого метода.*

***Ключевые слова:** зональная навигация, метод RNAV, время прибытия, расчет расписания.*

## A METHOD FOR SCHEDULE UPDATING BASED ON CURRENT DATA

*Juliya V. GAVRILENKO, Ph.D. in Engineering,  
Nataliya A. ZAITSEVA, D. Sc. in Engineering, professor,  
Inna V. KALININA, Ph.D. in Engineering  
'Moscow Institute of Electromechanics and Automatics' PJSC  
E-Mail: inbox@aomiea.ru*

*This article describes a method for schedule updating during en route operations. The results of mathematical simulation with changes in current flight conditions are given. Scheduling accuracy is estimated with the use of proposed method.*

***Keywords:** area navigation, RNAV method, arrival time, scheduling.*

Создание интероперабельной глобальной системы организации воздушного движения для всех пользователей на всех этапах полета — это согласованные уровни безопасности полетов, оптимальные экономические показатели, соблюдение требований охраны окружающей среды и национальной безопасности.

Для будущей системы требуются взаимодействие в использовании воздушного пространства и значительная информационная осведомленность.

Информация для совместного использования воздушного пространства (FF-ICE) должна быть реализована к 2025 году и затрагивает разработку новых средств бортового (функция 4D навигации) и наземного оборудования.

Поскольку преимущества зональной навигации очевидны и метод RNAV утвержден ИКАО как основной метод навигации будущего, стало очевидным и то, что необходимо вводить и концепцию требуемых навигационных характеристик (PBN) как инструмент технического и нормативного регулирования полетов с применением RNAV.

Концепция требуемых навигационных характеристик (PBN) устанавливает соответствие навигационных характеристик всех пользователей в пределах данного воздушного пространства навигационным возможностям. Типы RNP должны определяться единым значением точности, в том числе и точностью выдерживания временного расписания.

Задача выдерживания расписания зависит от многих факторов, к которым в первую очередь относится точное знание параметров ветра на всем полете. При наборе и снижении, когда высота и скорость быстро изменяются, провести уточнение плана полета довольно сложно и это отдельная задача, которая в данной статье не рассматривается.

Рассмотрим возможность уточнения расписания на крейсерском полете. В этом случае высота и скорость от точки ТОС (точка окончания набора) до точки ТОД (точка начала снижения) имеют примерно постоянное значение. Параметры ветра, а именно модуль скорости и направление, могут меняться как незначительно, так и резко, что потребует нового перерасчета расписания.

Имеется план полета, полученный перед полетом, для которого рассчитаны такие параметры как: время прибытия в каждый пункт маршрута  $ПМ_i$ , время, потраченное на выполнение каждого участка, исходя из заданных по плану скорости и высоты полета.

В данной статье рассмотрим этап крейсерского полета.

Задача уточнения времени прибытия может решаться разными способами. Один из способов уточнения времени прибытия в пункт TOD состоит в следующем:

1. Находим разность между временем прибытия в точку ТОС по плану  $T_{Пр_{пл}_i}^{ТОС}$  и по фактическим данным  $T_{Пр_{факт}_i}^{ТОС}$ .
2. По этой разнице уточняем время прибытия в каждом последующем пункте маршрута до точки TOD (рис. 1).

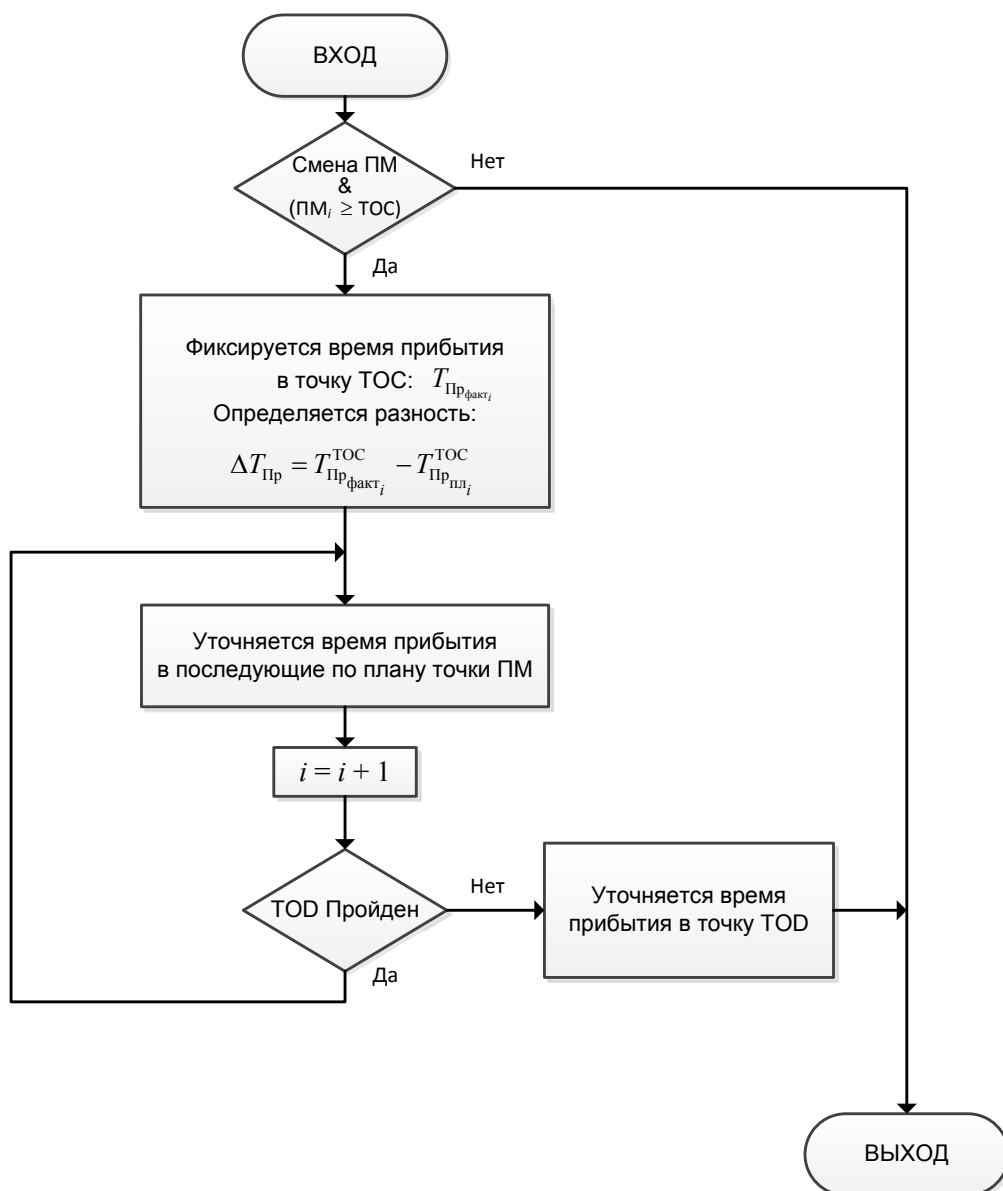


Рис. 1. Схема уточнения расписания по фактическому выходу в точку ТОС

3. Способ уточнения планового времени прибытия в  $T_{\text{Пр}_{\text{пл}}}$  ПМ<sub>*i*</sub> на каждом из участков крейсерского полета, т. е. от точки ТОС до точки ТОД выполняется следующим образом:

— находится разность между временем прибытия по плану  $T_{\text{Пр}_{\text{пл}}}$  в точку ТОС и фактическим временем прибытия  $T_{\text{Пр}_{\text{факт}}}$ :

$$\Delta T_{\text{Пр}}^{\text{ТОС}} = T_{\text{Пр}_{\text{факт}}} - T_{\text{Пр}_{\text{пл}}};$$

— далее в каждой последующей точке плана уточняется время прибытия:

$$T_{\text{Пр}_i}^{\text{уточн}} = T_{\text{Пр}_i} + \Delta T_{\text{Пр}}^{\text{ТОС}},$$

где  $\Delta T_{\text{Пр}}^{\text{ТОС}}$  — погрешность определения времени прибытия по плану,  $T_{\text{Пр}_i}^{\text{уточн}}$  — уточненное время прибытия в *i*-тую точку.

Таким образом, мы получаем уточненное время прибытия в каждом пункте маршрута до точки ТОД включительно.

При выходе на крейсерский этап полета после окончания набора высоты проводим уточнение расписания по фактическому времени прибытия в точку ТОС.

Дальнейшее уточнение расписания необходимо в том случае, когда изменятся условия полета — поменяются скорость или направление ветра, высота или скорость полета и др. Алгоритм уточнения следующий (рис. 2):

— при наличии заданного плана полета и времени прибытия в *i*-ый пункт маршрута фиксируется фактическое время прибытия в каждый *i*-ый пункт плана  $T_{\text{Пр}_{\text{факт}_i}}$  на крейсерском эшелоне, затем рассчитывается время выполнения текущего участка полета по текущей скорости полета  $\Delta T_{\text{Пр}_i}$ ;

— рассчитывается корректирующий коэффициент:

$$K \Delta T_i = \Delta T_{\text{Пр}_{\text{факт}_i}} / \Delta T_{\text{Пр}_{\text{пл}_i}},$$

который позволяет уточнить время выполнения полета следующих участков маршрута и время прибытия в *i*-ый пункт маршрута в зависимости от изменившихся условий полета

$$T_{\text{Пр}_{\text{пл}_i}}^{\text{корр}} = T_{\text{Пр}_i}^{\text{уточн}} \cdot K \Delta T_i.$$

При последующей смене ПМ производится уточнение поправочного коэффициента:

$$K\Delta T^{\text{корр}} = K\Delta T_{i-1} \cdot K\Delta T_i,$$

где  $K\Delta T_{i-1}$  — поправочный коэффициент, вычисленный на предыдущем участке полета.

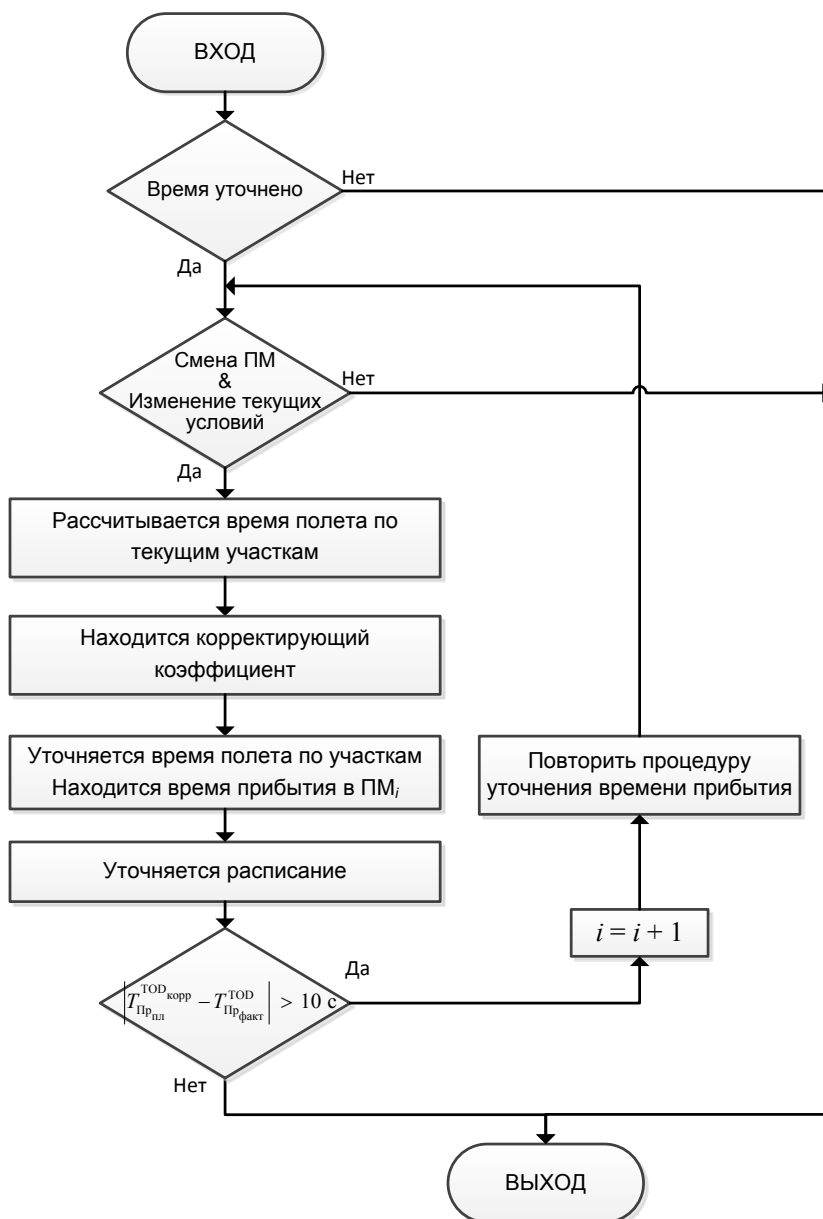


Рис. 2. Уточнение расписания с помощью корректирующего коэффициента

При смене ПМ эта процедура может повторяться до выполнения неравенства (1), когда разность между уточненным плановым временем прибытия в точку TOD  $T_{Пр_{пл}}^{TOD_{корр}}$  и фактическим  $T_{Пр_{факт}}^{TOD}$  станет меньше 10 с.

$$\left| \Delta T_{Пр}^{TOD} \right| = \left| T_{Пр_{пл}}^{TOD_{корр}} - T_{Пр_{факт}}^{TOD} \right| < 10 \text{ с.} \quad (1)$$

Для подтверждения работоспособности предлагаемого алгоритма и оценки точности выдерживания расписания было проведено математическое моделирование его функционирования для различных трасс полета. В таблице 1 (стр. 58) приведены результаты, полученные в одном из полетов.

При прохождении точки ТОС фиксировалось фактическое время прибытия, и по нему уточнялось расписание до точки TOD. Уточнение проводилось в связи с изменением текущих условий полета, а именно с изменением ветра на втором участке полета, когда фактическое время прибытия стало отличаться от расчетного планового (выделено красным).

Процедура пересчета повторялась для каждой последующей точки. Это показано в приведенной таблице 1. По мере приближения к конечной точке ошибка выдерживания расписания уменьшается (рис. 3).

На графике (рис. 3) приведена погрешность выдерживания расписания при наличии алгоритма уточнения расписания (квадратики) и при его отсутствии (зеленая линия). Как видно из графика, в конечную точку приходим практически точно (с точностью до долей секунды).

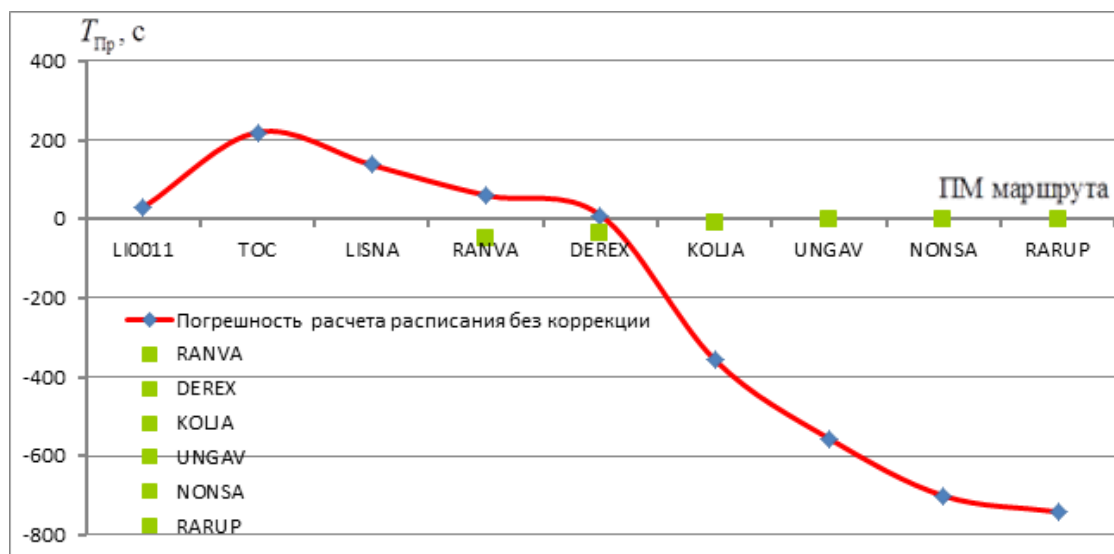


Рис. 3. График изменения погрешности времени прибытия в ПМ

Таблица 1

Идентификатор ППМ	Участок маршрута	LISNA	RANVA	DEREX	KOLJA	UNGAV	NONSA	RARUP
		1	2	3	4	5	6	7
Время прибытия в ППМ расчетное, с	LI0011-> LISNA	32991,65	33119,75	33397,43	35865,83	37241,67	38304,94	38586,57
Время прибытия в ППМ расчетное, скорректированное по текущим данным на участках маршрута (UTC), с (уточненное расписание по текущим данным)	LISNA -> RANVA	32991,6	33179,9	33457,6	35926,0	37301,8	38365,12	38646,74
	RANVA-> DEREX	32991,6	33179,9	33407,3	35875,	37251,6	38314,89	38596,51
	DEREX -> KOLJA	32991,6	33179,9	33407,3	35509,	36701,2	37622,5	37866,52
	KOLJA-> UNGAV	32991,6	33179,9	33407,3	35509	36685,8	37602,84	37845,73
	UNGAV-> NONSA	32991,6	33179,9	33407,3	35509,	36685,	37604,4	37847,5
	NONSA-> RARUP	32991,6	33179,9	33407,3	35509,	36685,	37604,4	37845,3
Время прибытия в ППМ фактическое (UTC), с		33128,9	33129,7	33370,3	35499,2	36686,7	37602,7	37845,6
Ошибка выдерживания расписания на участках маршрута для уточненного расписания, с	LI0011-> LISNA	137,25	9,94516	-27,1337	-366,63	-554,96	-702,244	-740,966
	LISNA -> RANVA		-50,2311	-87,31	-426,80	-615,14	-762,421	-801,142
	RANVA -> DEREX			-37,0789	-376,57	-564,91	-712,19	-750,911
	DEREX -> KOLJA				-9,88951	-14,508	-19,8033	-20,9193
	KOLJA-> UNGAV					0,8932	-0,14165	-0,12928
	UNGAV-> NONSA						-1,72518	-1,89563
	NONSA-> RARUP							0,28647
Ошибка выдерживания расписания без коррекции, с		137,25	60,176	9,94516	-356,743	-555,862	-700,519	-741,252

Как видно из таблицы, уточнение расписания можно было бы остановить, так как погрешность расчета расписания становится меньше 10 с, что и требуется обеспечить.

По результатам экспериментов можно сделать заключение о работоспособности предложенного алгоритма уточнения расписания на крейсерском этапе полета после прохождения 1-2 участков крейсерского полета.

### **Заключение**

Представленные в статье материалы показывают, что модуль программного обеспечения самолетовождения обеспечивает решение задачи уточнения расписания с требуемыми характеристиками точности.



## Литература

1. Кушельман В. Я., Стулов А. В. Навигация будет точнее. Воздушный транспорт, №3, 2015 г.
2. Дос 9613 Руководство по навигации, основанной на характеристиках.
3. 9854 Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД.