

УДК 629.7.054.07

О ВЫДЕРЖИВАНИИ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ В КОНТРОЛЬНУЮ ТОЧКУ

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

В данной статье предлагается рассмотреть вопрос о выдерживании времени прибытия в контрольную точку. Определяется управляющий сигнал, позволяющий выдержать заданное время прибытия в точку.

***Ключевые слова:** расчет расписания, время прибытия, управляющий сигнал.*

ON MEETING THE TIME OF ARRIVAL AT THE FIX

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

The article analyses the issue of meeting the time of arrival at the fix. The control signal, which allows to meet the required time of arrival, is defined in the article.

***Keywords:** scheduling, time of arrival, control signal.*

В предыдущей статье, посвященной реализации функции 4D-навигации [1], рассматривались вопросы уточнения расчета временного расписания с учетом текущих условий полета [2]. Для решения задачи выдерживания времени прибытия в контрольный пункт маршрута по/вне плана полета необходимо управление временем прибытия. Это решение будет более эффективным, чем точнее будет прогноз ветра, температуры и так далее.

Приведем несколько основных понятий [3].

Актуальное время прибытия (ATA). Фактическое время, в которое рассчитанное оборудованием RNP положение пересекает контрольную точку (КТ).

Примечание: ошибка времени прибытия, связанная с фактическим временем пересечения КТ воздушным судном, обрабатывается через требование навигационной точности.

Время пересечения. Время, когда пересечение контрольной точки происходит при изменении курса «fly-over», или в боковой плоскости на пересечении биссектрисы угла разворота.

Заданное время прибытия (RTA). Время, в которое система обязана пересечь фиксированную точку, также описывается как ограничение по времени.

Estimated time of arrival (ETA). Расчетное время прибытия, в которое, по прогнозам оборудования RNP, будет пересечение в контрольной точке. Расчетное время подлета (ETA) для каждой точки, указанной в плане полета, должно быть доступно в течение 30 секунд после завершения ввода данных в план полета для выполнения расчетов [4]. Расчет ETA должен проводиться на основе расчетного положения, путевой скорости на каждом участке маршрута полета, вертикального профиля и ожидаемой криволинейной наземной линии пути.

Максимальная ошибка в ETA в контрольной точке должна составлять либо 1% от оставшегося времени полета, либо 10 секунд, в зависимости от того, что больше для введенного плана полета за 15 минут до контрольной точки [4].

Time control error (TCE). Разница между заданным временем прибытия в точку (RTA) и расчетным временем прибытия (ETA) в эту точку, например, $TCE = RTA - ETA$.

Time Estimation error (TEE). Разница между расчетным временем прибытия в точку маршрута полета (ETA) и фактическим временем прибытия (ATA) в эту точку, например, $TEE = ETA - ATA$.

Ошибка определения времени (TDE). Разница между RTA, представленным в системе, и временем прибытия, которое было запрошено УВД. Предполагается, что эта ошибка равна нулю, когда и запрошенное время прибытия, и RTA представлены в секундах, если только не произошла ошибка при передаче данных.

Общая ошибка времени (TTE). Сумма ошибок контроля времени, оценки времени и определения времени, например, $TTE = TCE + TEE + TDE$.

Примечание: как отмечалось выше, TDE, скорее всего, равна нулю, и тогда суммарная ошибка составляет $TTE = RTA - ATA$ при пересечении контрольной точки.

Взаимосвязи между тремя элементами общей временной ошибки прибытия [3] показаны на рис. 1.

АКТУАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ФИКСАЦИИ СИСТЕМНЫЕ ВРЕМЕНА

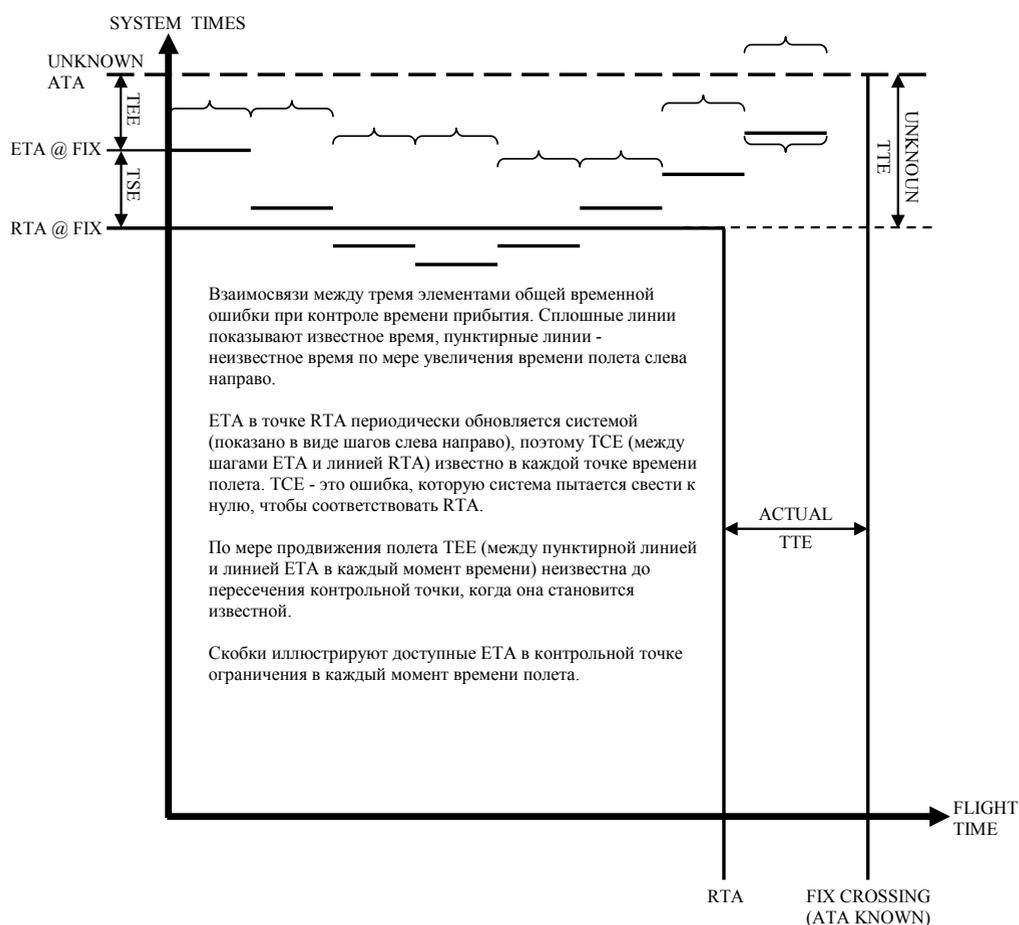


Рис. 1. ???

Сплошные линии показывают время, которое известно, пунктирные линии — неизвестное время по мере увеличения времени полета слева направо.

ETA в точке RTA периодически обновляется системой (показано в виде шагов слева направо), поэтому TCE (между шагами ETA и линией RTA) известно в каждой точке времени полета. TCE — это ошибка, которую система пытается свести к нулю, чтобы соответствовать RTA.

По мере выполнения полета TEE (между пунктирной линией и линией ETA в каждый момент времени) неизвестна до пересечения контрольной точки, когда она становится известной.

Система должна обеспечить выбор по крайней мере одной контрольной точки с заданным значением RTA, заданной в плане полета, и сделать это или на земле, или после начала полета. Если система Time of Arrival Control (ТОАС) включена в систему управления полетом, то она будет отслеживать и задавать скорость с такой точностью, с которой задано время подлета к точке RTA. Система ТОАС будет выполнять свои функции, не нарушая при этом установленные ограничения на скорость, не выходя за предельные значения лётно-технических характеристик и соблюдая все другие ограничения, указанные в плане полета, включая все ограничения, относящиеся к самой контрольной точке RTA.

Любые изменения плана полета или текущих условий полета должны приводить к пересчету приведенных выше данных и определении времени ETA. Если разность (RTA – ETA) больше 10 секунд, то формировать необходимые управляющие сигналы по скорости для выдерживания времени прибытия RTA в контрольную точку. Это определяет функцию управления временем прибытия, то есть решение задачи 4D-навигации.

Ниже предлагается способ (алгоритм) (рис. 2, 3) формирования управляющего сигнала по приборной скорости для выдерживания заданного времени прибытия в контрольную точку.

Способ заключается в определении требуемой путевой скорости прибытия в контрольный пункт на каждом из участков маршрутного полета и формировании управляющего сигнала по приборной скорости для выдерживания времени прибытия в контрольный пункт.

Сущность предлагаемого способа состоит в том, чтобы в течение выполнения полета с заданной периодичностью или по изменению условий полета рассчитывать время прибытия в контрольный пункт ETA и сравнивать его с заданным временем прибытия RTA. В случае, если значение разницы этих времен превышает уровень требуемой точности выдерживания времени RTA, то формировать управляющий сигнал по скорости.

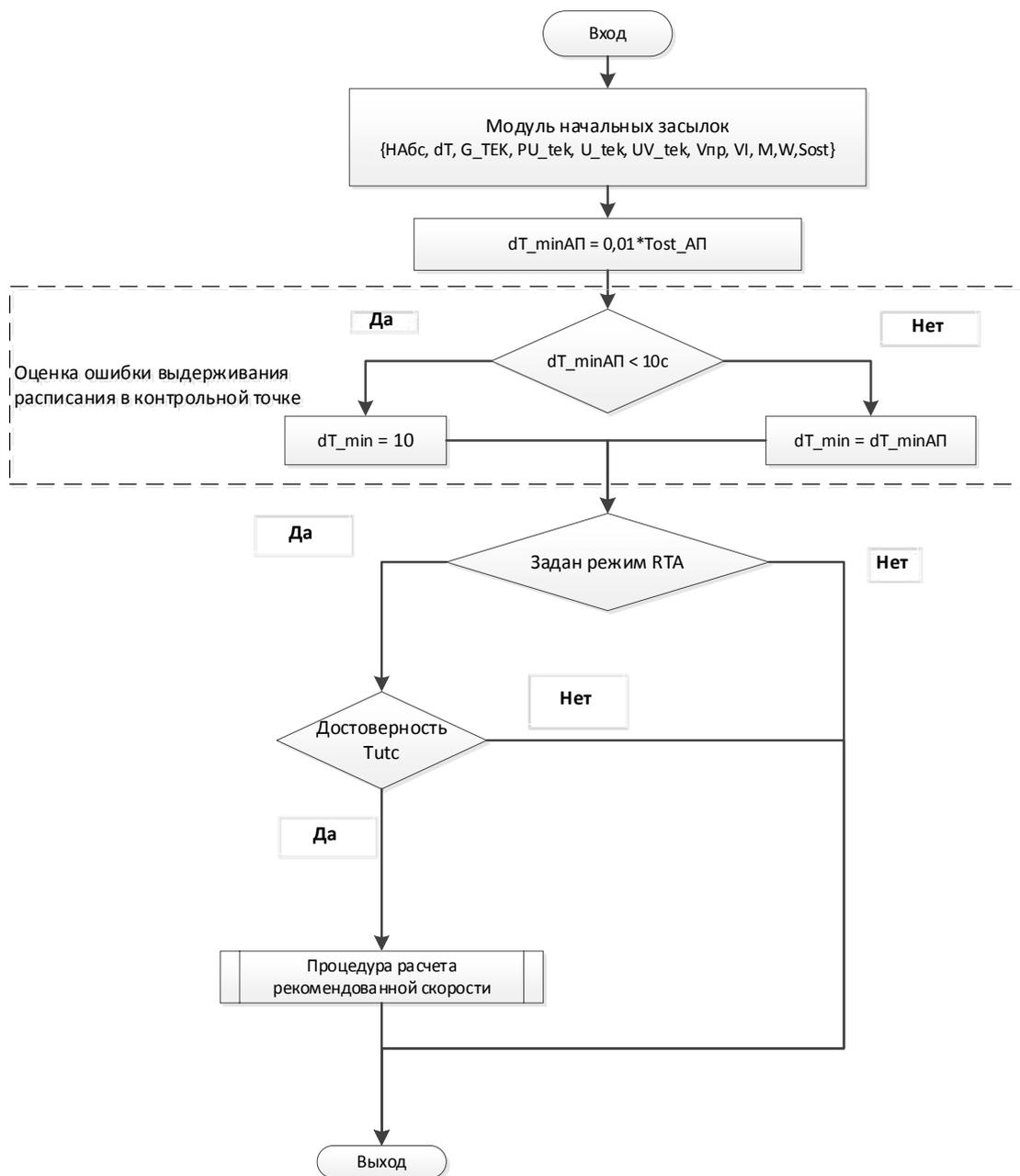


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выдерживания времени прибытия в КТ

Процедура расчета рекомендованной скорости v_{nav_Manage_schedule()}

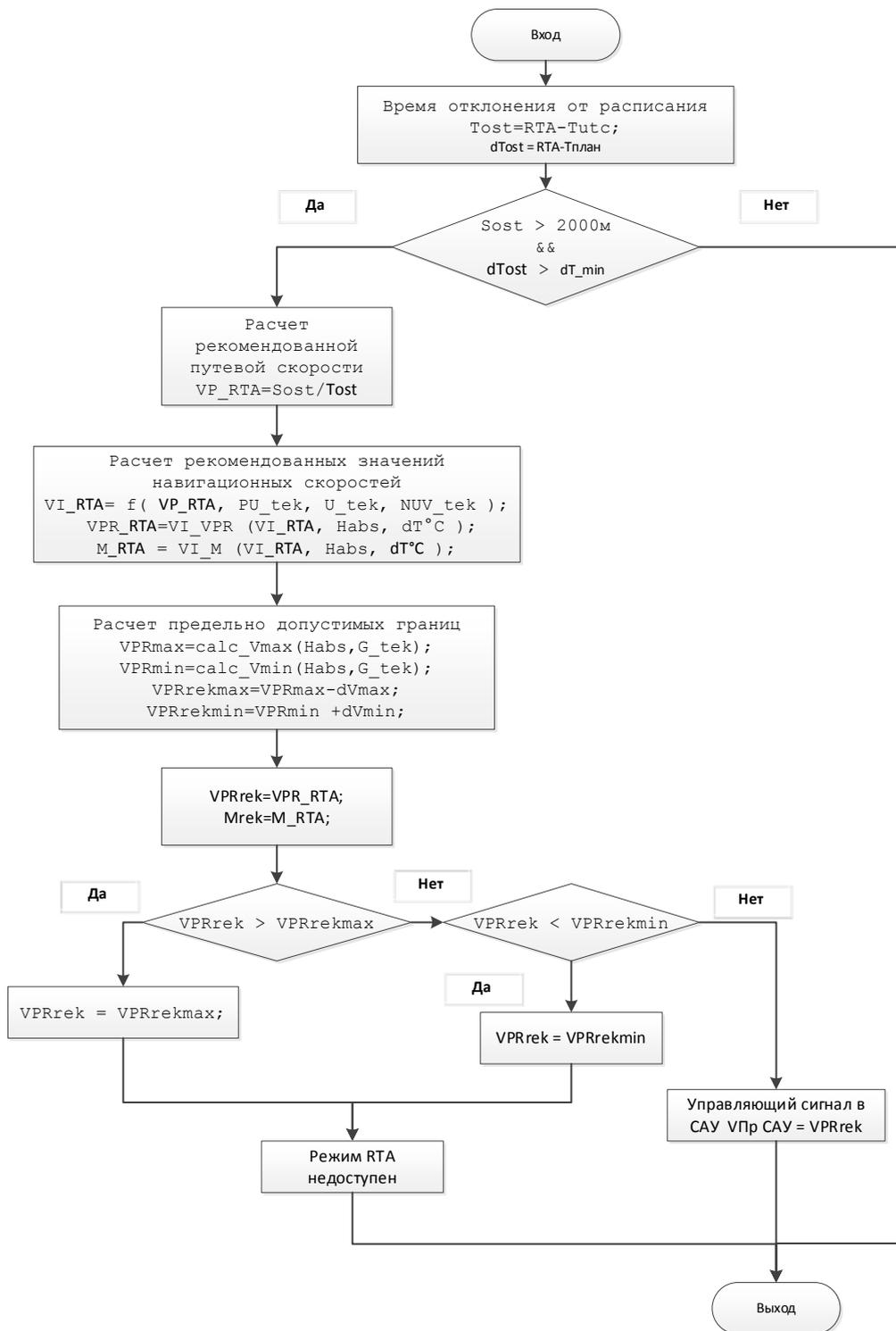


Рис. 3. Блок-схема алгоритм выдерживания времени прибытия

На рис. 2, 3 приведены следующие обозначения:

Набс, V_{np} , VI, M	Высота абсолютная, приборная скорость, истинная скорость, Мах по данным ИКВСП
dT	Отклонение от стандартной температуры
G ТЕК	Текущий вес ВС
PU_tek	Путевой угол текущий (КОИ)
U_tek, UV_tek	Угол ветра, модуль ветра (КОИ)
W	Путевая скорость (КОИ)
Sost	Оставшееся криволинейное расстояние до ПМ РТА (РТА?)
Tutc	Текущее время UTC (ETA)
Trp_z	Заданное время прибытия в ППМ РТА UTC (РТА)
dT_min	Минимально допустимая ошибка времени прибытия
Tost_АП	Время полета до аэродрома назначения
dT_minАП	Погрешность допустимая прилета 1% от времени Tost_АП
Tost	Время полета до ППМ РТА
РТА	Заданное время прибытия в ППМ
dTost	Время отклонения от расписания ТТЕ
VP_РТА	Путевая скорость рекомендованная
VI_РТА	Истинная скорость рекомендованная
VPR_РТА	Приборная скорость рекомендованная
M_РТА	Мах рекомендованный
VPRmax	Максимально допустимое значение приборной скорости по данным ЛТХ для текущих условий полета
VPRmin	Минимально допустимое значение приборной скорости по данным ЛТХ для текущих условий полета
VPRrekmax	Максимально допустимое значение рекомендованной скорости
VPRrekmin	Минимально допустимое значение рекомендованной скорости
Got_VPRrek	Готовность расчета рекомендованной скорости
V_{np} САУ	Управляющий сигнал по параметру приборная скорость в САУ

Для подтверждения работоспособности предлагаемого алгоритма было проведено математическое моделирование при различных условиях полета.

1. Трасса: аэродром вылета: UUEE-EDDH, SID: AR25D, ППМ: BERNO, MANIV (рис. 4).

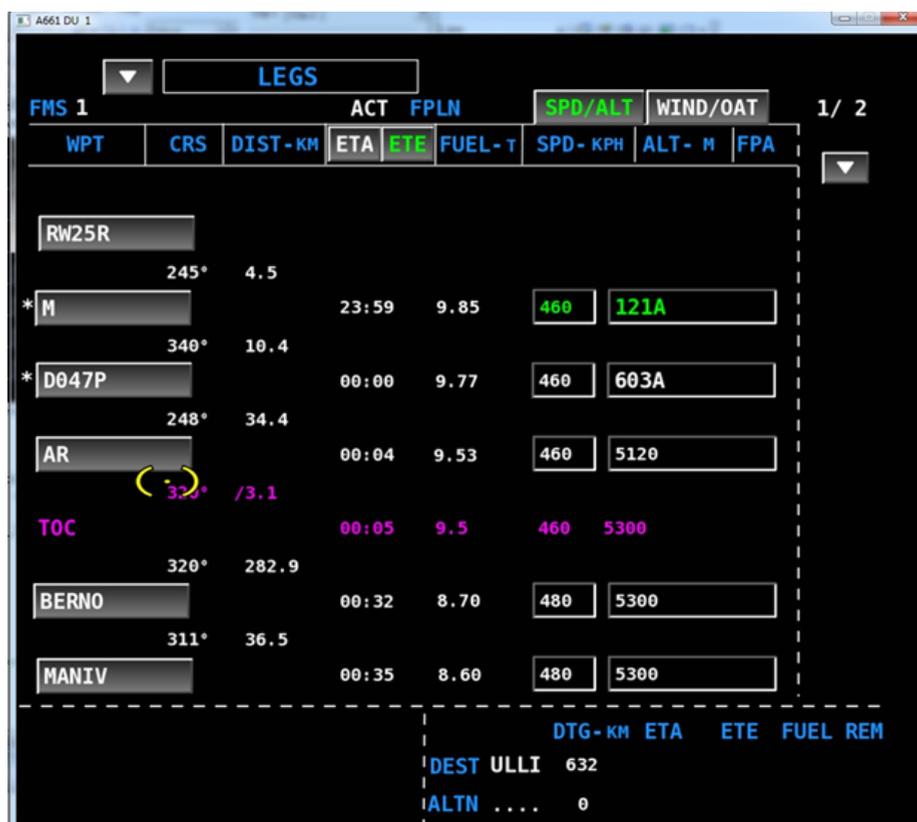


Рис. 4. Трасса полета

2. В контрольном пункте BERNO задано время прибытия RTA = 34369,688795 с.

3. Погрешности навигационных датчиков (таблица 1).

Таблица 1. Погрешность навигационных датчиков

БИНС		СВС		СНС	
Дрейф	Смещение нуля акселерометров	$V_{ист}$	H	Медленно меняющаяся	Быстро меняющаяся
0,016°/час	0,00085 м/с	10 м/с	8 м	0,1 м/с	0,01 м/с

4. Параметры ветра: скорость 8 м/с, направление 45°.

Рассчитывается рекомендованная путевая скорость V_{rec} выдерживания заданного времени прибытия RTA и определяется расчетное время прибытия ETA по заданным текущим условиям полета.

При очередном пересчете времени ETA может появиться разность $TTE = RTA - ETA$, связанная с изменившимися условиями полета. В этом случае формируется управляющий сигнал: определяется требуемая путевая скорость, которая пересчитывается в истинную, а затем в приборную скорость и Max. Формируется управляющий сигнал в САУ в виде заданной приборной скорости VPR_RTA . Управляющий сигнал в САУ формируется на маршрутном участке полета ВС.

Моделирование показало, что фактическое время прибытия в BERNO с учетом криволинейных участков составляет 34369,9 с (погрешность времени прибытия $TTE \approx 0,2$ с). Полученный результат удовлетворяет заданным требованиям по точности времени прибытия — погрешность не более 10 с. На рис. 5 приведены графики изменения скорости, как текущей так и заданной, выдаваемой в САУ. По данным ЛТХ приведены значения максимальной и минимальной рекомендованной приборной скорости.

На рис. 6 (стр. 84) приведены данные изменения характеристик ветра.

В таблице 2 (стр. 84) значения расчетного и фактического времени прибытия в различные моменты выполнения полета.

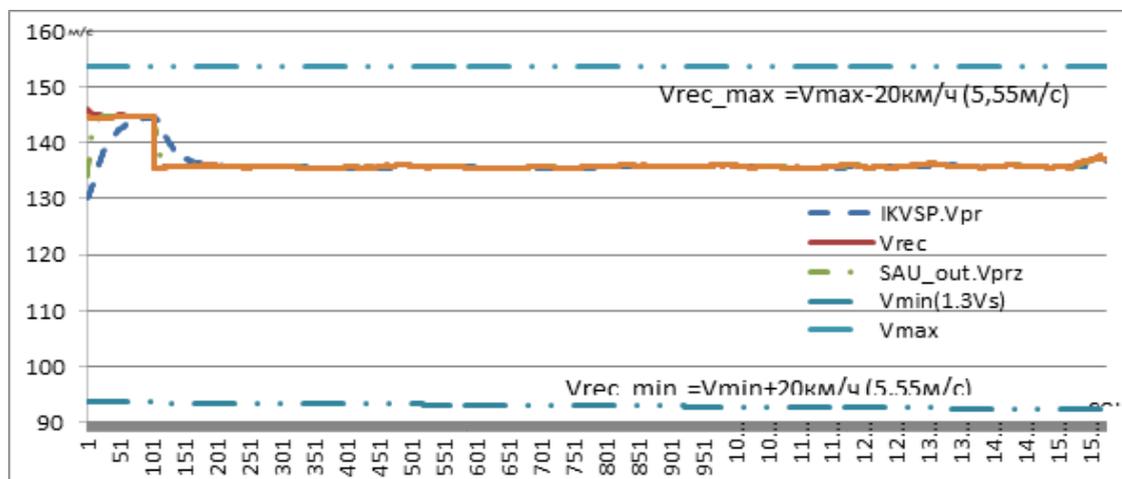


Рис. 5. График изменения рекомендованной приборной скорости, приборной скорости по данным СВС, заданной приборной скорости в САУ

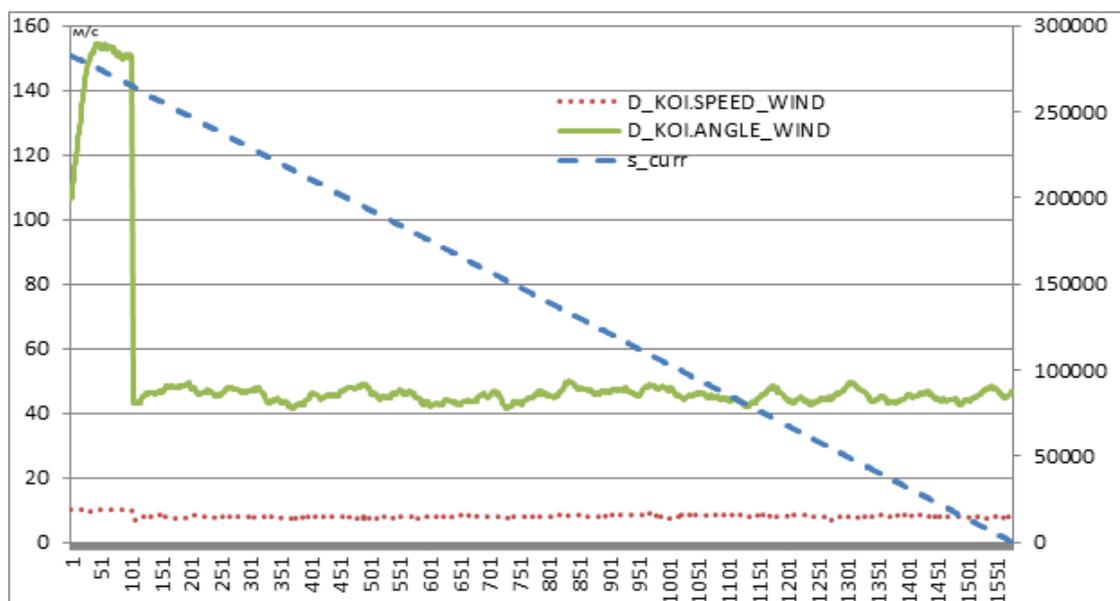


Рис. 6. График изменения угла ветра и модуля ветра по данным КОИ

Таблица 2.

ППМ	ETA, с	RTA, с	TTE, с	V ^{PRrec} км/ч	ATA, с
М	32451,2				32503,9
D047P	32506,9				32569,9
AR	32732,2				32784,9
BERNO	32732,2	34377,27	0,4	470,64	34376,9

Заключение

По результатам проведенного моделирования можно сделать вывод о работоспособности и об эффективности предложенного алгоритма формирования управляющего сигнала по приборной скорости. Алгоритм является адаптивным к текущим условиям полета.

Однако следует уточнить, как часто необходимо формировать управляющий сигнал по приборной скорости, чтобы с требуемой точностью выдержать расписание.

Литература

1. *Гавриленко Ю. В., Зайцева Н. А., Калинина И. В.* Способ уточнения расписания по текущим данным. // *Навигация и управление летательными аппаратами*, выпуск 36 (2022-1).
2. *Кузнецов А. Г., Зайцева Н. А.* К вопросу анализа концепции организации воздушного движения. // *Сб. «Приборы навигации и управления летательными аппаратами»*, выпуск 27 (2019-4).
3. RTCA DO-283A. Minimum Operational Performance Standards for Required Navigation Performance for Area Navigation. RTCA, Inc. Washington, 2015.
4. RTCA DO-236C. Minimum Aviation System Performance Standards: Required Navigation Performance for Area Navigation. RTCA, Inc. Washington, 2013.