

УДК 621.396.96

Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора¹

¹ Синицын Е. А., ² Фридман Л. Б.

¹ НТЦ АО «Челябинский радиозавод “Полет”»
ул. Курчатова, 9, С-Петербург, 194223, Российская Федерация
esinit@yandex.ru

² ООО «НПК “ТИМ”»
пр. Шаумяна, 4, корп. 1, лит. А, С-Петербург, 195027, Российская Федерация
lenya2002@bk.ru

Получено: 21 декабря 2020 г.

Отрецензировано: 28 декабря 2020 г.

Принято к публикации: 15 января 2021 г.

Аннотация: Рассматриваются особенности построения и использования высоко-частотной выносной аппаратуры юстировки пространственной ориентации осей диаграмм направленности антенн курса и глиссады по азимуту и углу места посадочного радиолокатора (ПРЛ), а также текущего траекторного контроля положения и погрешности измерения координат воздушных судов (ВС), выполняющих посадку в зоне действия ПРЛ. Показано, что доплеровские отражатели и выносные контрольные устройства выносной аппаратуры должны принимать зондирующие сигналы ПРЛ и переотражать их обратно в направлении на ПРЛ для имитации сигналов ВС, находящихся в фиксированных (по дальности и угловым координатам) контрольных точках на заданных (плановых) линиях посадки по курсу и глиссаде. Для приема и переизлучения сигналов ПРЛ с фазовой межпериодной манипуляцией 0/π предлагается вариант построения схемы модуля на рупорной антенне и рпн-диоде. Отмечается, что формирование и использование контрольных точек на линиях посадки по курсу и глиссаде позволяет повысить достоверность и точностные параметры измерения сферических координат ВС в ПРЛ, что создает условия и предпосылки для реализации безоблетной технологии ввода ПРЛ в штатную эксплуатацию.

Ключевые слова: воздушное судно, посадочный радиолокатор, антенна курса, антенна глиссады, выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля, линия посадки, зона действия, взлетно-посадочная полоса, аэродромная зона, приемо-передающая антенна, доплеровский отражатель, выносное контрольное устройство, частота Доплера, зондирующий сигнал, поляризация, канал связи.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2020 (Севастополь, РФ, 6—12 сентября 2020 г.).

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Синицын Е. А., Фридман Л. Б. Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 4. С. 399—408.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Синицын, Е. А. Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора // Е. А. Синицын, Л. Б. Фридман // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. — Т. 3, № 4. С. 399—408.

The remote equipment for precision approach radar alignment and trajectory control

E. A. Sinitsin¹ and L. B. Fridman²

¹STC JSC Chelyabinsk radio plant “Polet”

9, Kurchatova str., S-Petersburg, 194223, Russian Federation

esinit@yandex.ru

²LLC NPK “TIM”

4/1, Shaumyana Ave, S-Petersburg, 195027, Russian Federation

lenya2002@bk.ru

Received: December 21, 2020

Peer-reviewed: December 28, 2020

Accepted: January 15, 2021

Abstract: *The features of construction and usage of the high-frequency remote equipment for the spatial orientation adjusting of axes of antenna radiation pattern for the course and the glide path channels of the precision approach radar (PAR) as well as the trajectory control and error measurement of coordinates of aircraft, landing in the area of PAR, are considered. It is shown that Doppler reflectors and remote control devices of remote equipment should receive probing PAR signals and retransmit them back in the direction of the PRL to simulate aircraft signals located in fixed (in range and angular coordinates) control points on the specified (planned) landing lines on the course and glide path. A variant of constructing a module circuit on a horn antenna and pin diode is proposed for receiving and retransmitting the signals with phase shift keying $0/\pi$. It is noted that the formation and usage of control points on the lines of the landing course and glide path improves the accuracy and precision parameters of the spherical coordinates measurement, which creates the conditions and prerequisites for the implementation of no-fly technology for commissioning PAR.*

Keywords: *aircraft, precision approach radar, course antenna, glide path antenna, remote alignment and trajectory control equipment, landing line, range, runway, airfield zone, receiving and transmitting antenna, Doppler reflector, remote control device, Doppler frequency, sounding signal, polarization, communication channel.*

For citation (IEEE): E. A. Sinitsin et al. “The remote equipment for precision approach radar alignment and trajectory control,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 399–408, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Посадочные радиолокаторы (ПРЛ) являются одним из основных аэродромных наземных средств управления полетами и посадки воздушных судов (ВС) в ближней аэродромной зоне [1, 2].

Для выполнения юстировки положения диаграмм направленности антенной системы и контроля текущих параметров ПРЛ может использоваться внешняя выносная аппаратура, принимающая высокочастотные (ВЧ) зондирующие сигналы ПРЛ и перотражающая их обратно в направлении на ПРЛ [3].

Предлагаемая ВЧ выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля (ВАЮТК) предназначена для приема и направленного переизлучения в сторону ПРЛ ВЧ зондирующих сигналов (ЗС), излучаемых каналами курса и глиссады ПРЛ.

Цель использования ВАЮТК в ПРЛ — юстировка пространственной ориентации осей диаграмм направленности (ДН) антенны курса (АК) и антенны глиссады (АГ) ПРЛ соответственно по азимуту и углу места, а также текущий контроль положения и погрешности измерения угловых координат и наклонной дальности ВС, выполняющих предпосадочное маневрирование в зоне действия ПРЛ и посадку по траектории снижения (линии посадки).

ВАЮТК устанавливаются на удалении (выносе) симметрично относительно ПРЛ вдоль взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома на каждом из двух направлений посадки ВС и ориентируются на ПРЛ.

2. Теория

Средства ВАЮТК образуют совместно с приемопередающими трактами ПРЛ радиолокационные каналы связи, в которых активной запрашивающей стороной являются передающие каналы курса с АК и глиссады с АГ ПРЛ, пассивным или активным ответчиком — приемопередающий тракт ВАЮТК, а приемной стороной — приемные каналы курса с АК и глиссады с АГ ПРЛ.

В состав ВАЮТК при расположении одного ПРЛ на аэродроме входят доплеровские отражатели (ДО), предназначенные для юстировки и траекторного контроля положения ВС в азимутальной плоскости, и выносные контрольные устройства (ВКУ) для юстировки и контроля положения ВС как в азимутальной, так и в угломестной плоскостях (рис. 1).

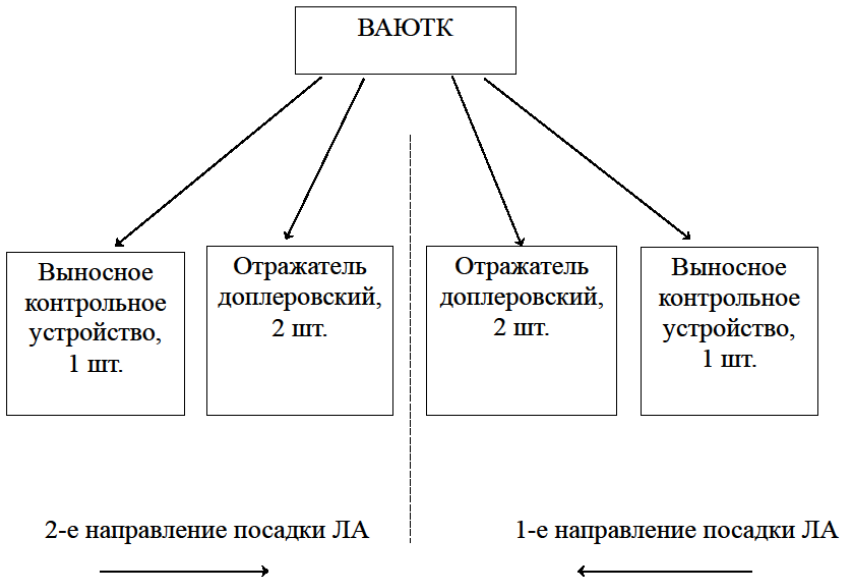


Рис. 1. Состав выносной аппаратуры юстировки и траекторного контроля при расположении посадочного радиолокатора на аэродроме.

Fig. 1. Composition of remote equipment for alignment and trajectory control when the landing radar is located at the airfield

ДО и ВКУ (азимутальный канал) при совместной работе с ПРЛ обеспечивают:

— юстировку положения оси ДН антенны курса ПРЛ по азимуту в горизонтальной плоскости, выполняемую при разворачивании антенной системы ПРЛ на аэродроме и в ходе регламентных проверок курсового канала ПРЛ,

— текущий контроль положения контрольных точек, располагаемых на штатной линии посадки ВС по курсу в ближней зоне, что позволяет выполнять непрерывную проверку величины реальной погрешности измерения азимутальной координаты (азимута) и дальности канала курса ПРЛ, а также проводить оценку текущего положения ВС, идущих на посадку, на линии посадки по курсу на конечном участке посадки в пределах азимутальных углов зоны действия по азимуту ПРЛ ($\pm 17,5$ град.).

Угломестный канал ВКУ обеспечивает:

— юстировку положения оси ДН антенны глissады ПРЛ по углу места в вертикальной плоскости, выполняемую при разворачивании антенной системы ПРЛ на аэродроме и в ходе регламентных проверок глissадного канала ПРЛ;

— текущий контроль положения контрольной точки, располагаемой на штатной линии посадки по глиссаде, что позволяет выполнять непрерывную проверку величины реальной погрешности измерения углов места и дальности в ПРЛ, а также проводить оценку текущего положения ВС, идущих на посадку, на линии посадки по глиссаде на конечном участке посадки в пределах зоны действия по углу места ПРЛ (от минус 1 до 8 град.).

В состав ДО входят тренога (высота ~ 3 м), приемо-передающая антенна (ППА) сигналов курсового канала (рупорного типа), обеспечивающая прием и переизлучение ВЧ ЗС ПРЛ, электронный модуль (ЭМ), обеспечивающий изменение начальной фазы переизлучаемых импульсных ВЧ ЗС ПРЛ по курсу, и аккумулятор.

В состав ВКУ входят мачта (высота ~ 7 м), ППА сигналов курсового и глиссадного канала (рупорного типа), ЭМ, обеспечивающий изменение начальной фазы переизлучаемых импульсных ВЧ ЗС ПРЛ по курсу и глиссаде, а также аккумулятор.

Конструктивно ДО и ВКУ имеют несущую вертикальную конструкцию (треногу или мачту), устанавливаемую на неподготовленной площадке земной поверхности аэродрома, на которой располагается малогабаритная направленная антенна (например, рупорная) с электронным модулем, обеспечивающим переотражение входного сигнала с фазовой манипуляцией $0/\pi$ в направлении на ПРЛ.

Эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) несущих конструкций ДО (треноги) и ВКУ (мачты) в обратном направлении на ПРЛ для уменьшения уровня мешающих сигналов должна быть минимальной.

С целью минимизации ЭПР на ПРЛ в ДО и ВКУ выполняется:

— минимизация количества и площади металлических участков конструкции, поверхность которых расположена по нормали к ПРЛ (соосной с оптической осью антенны ДО и ВКУ),

— нанесение на поверхность несущих конструкций в направлении на ПРЛ поглощающих покрытий, уменьшающих отражение мешающих ВЧ сигналов в обратном направлении.

Мешающие сигналы, отраженные от несущих конструкций ДО (тренога) и ВКУ (мачта), имеющие нулевой сдвиг частоты Доплера и принятые приемными каналами курса и глиссады ПРЛ, не должны приводить к ограничению приемных трактов ПРЛ, а также превышать мощность переизлученных полезных сигналов, имеющих фазовый сдвиг $0/180$ град., более чем на 10 дБ.

Конструкция ДО и ВКУ предусматривает возможность механического перемещения антенн по высоте, а также регулировки положения ан-

тени в горизонтальной и угломестной плоскостях на углы в пределах не менее $\pm 5^\circ$ относительно исходных положений на ПРЛ, определяемых выбранным направлением посадки.

В ДО и ВКУ предусматривается установка контрольных горизонтальных площадок, жестко связанных с осями антенн ДО и ВКУ, с обозначенным направлением, соответствующим горизонтальной оси ДН ППА, для установки оптического прицела или квадранта, используемых при горизонтировании и ориентировании антенн ДО и ВКУ на АС ПРЛ.

ДО и ВКУ совместно с курсовым и глissадным приемопередающими трактами антенной системы ПРЛ обеспечивают формирование и текущую работу следующих радиолокационных каналов связи:

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала курса ПРЛ — штатная ППА ПРЛ курсового канала — ППА ДО — штатная ППА курсового канала ПРЛ — приемный тракт курсового канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале курса ПРЛ контрольных сигналов курса, переизлученных ДО;

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала курса ПРЛ — штатная ППА ПРЛ курсового канала — ППА канала курса ВКУ — штатная ППА курсового канала ПРЛ — приемный тракт курсового канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале курса ПРЛ контрольных сигналов курса, переизлученных ВКУ;

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала глissады ПРЛ — штатная ППА ПРЛ глissадного канала — ППА канала глissады ВКУ — штатная ППА глissадного канала ПРЛ — приемный тракт глissадного канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале глissады ПРЛ контрольных сигналов глissады, переизлученных ВКУ.

Требуемая номинальная зона действия по дальности при работе с ПРЛ:

— в пределах от ~ 300 до ~ 2000 м для ДО;

— в пределах от ~ 100 до ~ 300 м для ВКУ.

Требуемые номинальные зоны действия ДО и ВКУ при работе с ПРЛ по угловым координатам:

а) по азимуту в пределах от минус ~ 15 до ~ 15 град. относительно нормали к плоскости ППА, ориентированной на ПРЛ;

б) по углу места в пределах от минус 1 до 8 град. относительно местной горизонтальной плоскости.

Электронные модули ДО и ВКУ, формирующие переотражаемые импульсные ВЧ ЗС ПРЛ, обеспечивают изменение начальной фазы принимаемых импульсных ЗС ПРЛ в каналах курса и глissады по закону $0/180$ град. ± 10 град. с целью имитации доплеровского сдвига частоты от-

раженных импульсных сигналов, а также их переизлучение с поляризацией, подобной поляризации переотражаемых ЗС, или с произвольной линейной поляризацией.

Расположение ДО и ВКУ на аэродроме выполняется таким образом, чтобы при их помощи обеспечивалось формирование нескольких контрольных точек (КТ) на номинальной линии посадки ВС по курсу (КТ_{К_i}, где i — номер КТ, $i=1, 2, \dots$), а также на номинальной линии посадки по глиссаде (КТ_{Г_i}) с наблюдением данных КТ на индикаторе курс — глиссада ПРЛ (рис. 2).

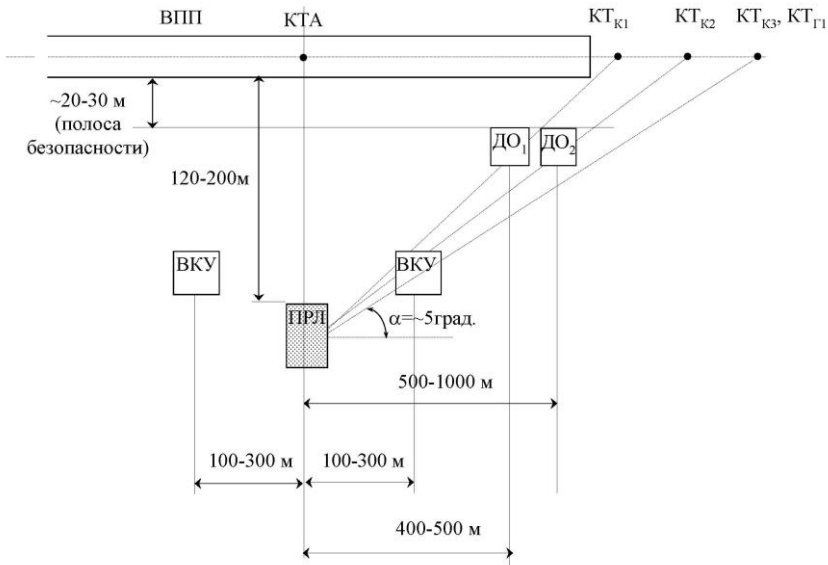


Рис. 2. Расположение средств выносной аппаратуры юстировки и траекторного контроля на аэродроме для формирования контрольных точек на линии курса КТ_{К1}, КТ_{К2}, КТ_{К3} и на линии глиссады КТ_{Г1} (доплеровские отражатели слева условно не показаны).

Fig. 2. Location of remote equipment for alignment and trajectory control at the aerodrome for the formation of control points on the course line КТ_{К1}, КТ_{К2}, КТ_{К3} and on the glide path line КТ_{Г1} (Doppler reflectors on the left are conventionally not shown)

Ввиду того, что фазовый центр антенны глиссады (АГ) ПРЛ находится, как правило, на небольшой высоте (~3,5 м) относительно земной поверхности, а номинальная линия посадки по глиссаде с началом в точке посадки на ВПП аэродрома имеет угол возвышения от 2 до ~4 град., то в целях формирования и наблюдения КТ_Г на линии глиссады размер мачты ВКУ по высоте должен быть не менее 7 м, а ВКУ располагается относительно ПРЛ на максимально близком расстоянии, обычно от 100 до 200 м (рис. 3).

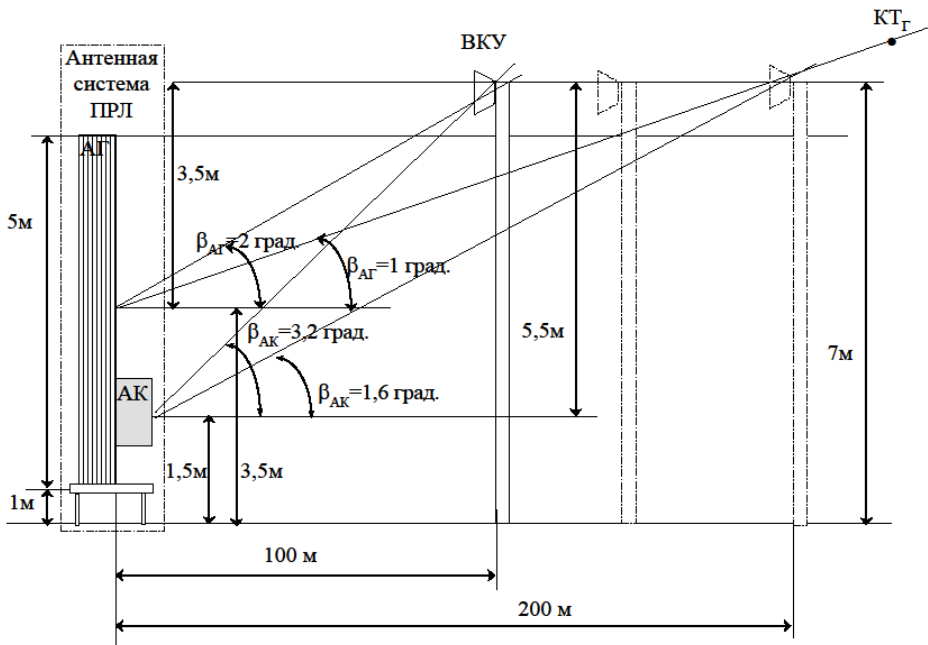


Рис. 3. Варианты расположения выносного контрольного устройства (VKU) относительно антенной системы посадочного радиолокатора (ПРЛ) по дальности и пределы углов наблюдения антенной курса (AK) и антенной глиссады (AG) контрольной точки глиссады снижения (КТГ) и антенны VKU в вертикальной плоскости.

Fig. 3. Variants of the location of the remote control device (VKU) relative to the antenna system of the landing radar (ПРЛ) in range and the limits of the observation angles of the antenna heading (AK) and antenna glide path (AG) of the control point of the descent glide path (КТГ) and the VKU antenna in the vertical plane

Для приема и переизлучения ВЧ импульсных периодических ЗС ПРЛ с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$ предлагается вариант построения схемы модуля на рупорной антенне и pin-диоде VD1, который при помощи устройства управления периодически открывается и закрывается с целью переотражения сигналов от диода, например, с фазой φ_2 , или от участка короткого замыкания (КЗ) с фазой $\varphi_2 + \pi$ (рис. 4). Переизлучение реализуется благодаря поочередному переотражению входных ВЧ импульсов либо от открытого pin-диола VD1 (переизлучение с фазой φ_2) путем подачи напряжения $U_1 = U_0$, либо от участка КЗ с общей задержкой, равной половине длины волны $\lambda/2$, в прямом и обратном направлениях (переизлучение с фазой $\varphi_2 + \pi$) при запортом диоде VD1 путем выключения напряжения U_1 ($U_1 = 0$).

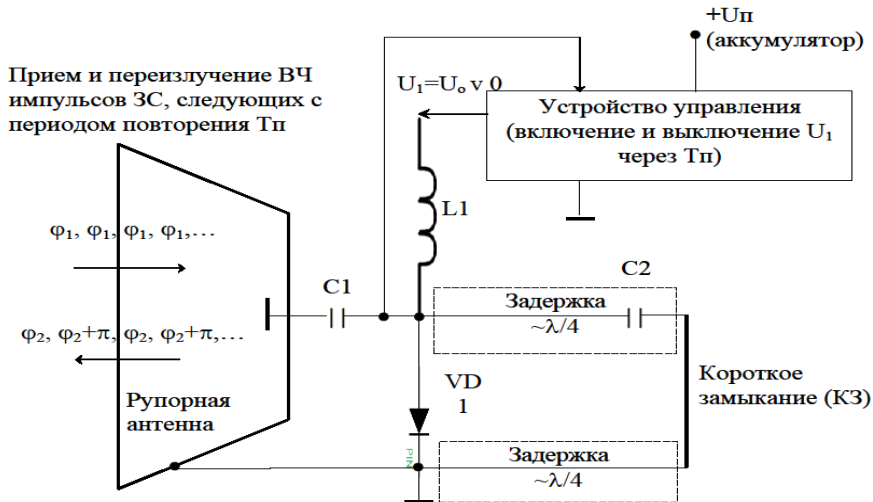


Рис. 4. Модуль приема и переизлучения последовательности ВЧ периодических импульсных сигналов с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$ на pin диоде VD1.

Fig. 4. Module for receiving and re-emitting a sequence of HF periodic pulse signals with phase inter-period shift keying $0/\pi$ on a pin diode VD1

Рекомендуемый тип pin-диода VD1 — GC4712 или GC4750 из семейства GC4700, работающих на частотах вплоть до Ku диапазона (18 ГГц) с возможностью его установки непосредственно в волноводную часть рупорной антенны².

3. Основные выводы

1. Для выполнения в ПРЛ, обеспечивающих управление полетами ВС в ближней аэродромной зоне и посадку ВС, требований высокоточного измерения сферических координат ВС, в состав ПРЛ необходимо включить для текущего штатного использования на аэродроме выносную аппаратуру юстировки и траекторного контроля (ВАЮТК) положения ВС на линиях посадки по курсу и глиссаде снижения.

2. ДО и ВКУ, входящие в состав ВАЮТК, должны принимать зондирующие сигналы ПРЛ и переотражать их обратно в направлении на ПРЛ для имитации радиолокационных сигналов неподвижных целей или перемещающихся ВС, находящихся в фиксированных (по дальности и угловым координатам) контрольных точках на заданных (плановых) линиях посадки по курсу и глиссаде.

² Microsemi Microwave Products. Control Devices – Limiters Diodes GC4701 – GC4750.

3. Предложены варианты расположения двух ДО и одного ВКУ (для каждого направления посадки) относительно антенной системы ПРЛ и взлетно-посадочной полосы аэродрома, а также вариант реализации модуля приема и переизлучения последовательности ВЧ периодических импульсных сигналов с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$.

4. Увеличение количества используемых ДО и ВКУ и соответственно контрольных точек на линиях посадки по курсу и глиссаде позволяет повысить достоверность и точностные параметры сферических координат ВС, что создает условия и предпосылки для реализации безоблетной технологии ввода ПРЛ в штатную эксплуатацию.

Список литературы

- 1 Лушников А. С. Наземные радиоэлектронные средства обеспечения полетов воздушных судов : Учебное пособие. Ульяновск : УВАУ ГА, 2001. 46 с.
- 2 Большаков Ю. П., Нечаев Е. Е. Посадочные радиолокаторы гражданской авиации и тенденции развития техники их построения // Научный вестник МГТУ ГА, сер. Радиофизика и радиотехника. 2012. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/posadochnye-radiolokatory-grazhdanskoj-aviatsii-i-tendentsii-razvitiya-tehniki-ih-postroeniya/viewer> (дата обращения 15.12.2020).
- 3 Волков С. И., Каргапольцев А. А., Курилов Н. Н. Радиолокационная система посадки РСР-6М2 : Учебное пособие / ГОУ ВПО МГИ РЭА (ТУ). М. : 2010. 153 с.

Информация об авторах

Фридман Леонид Борисович, главный специалист ООО «НПК “ТИМ”», д. т. н., г. С-Петербург, Российская Федерация.

Синицын Евгений Александрович, заместитель начальника Научно-технического центра АО «Челябинский радиозавод “Полет”», д. т. н., проф., г. С-Петербург, Российская Федерация.

Information about the authors

Leonid B. Fridman, head specialist of LLC NPK “TIM”, doctor of science, S-Petersburg, Russian Federation.

Eugeny A. Sinitsin, deputy head of the scientific and technical center of JSC “Chelyabinsk radio plant Polet”, doctor of science, professor, S-Petersburg, Russian Federation.