



**ASAMBLEA — 39º PERÍODO DE SESIONES**

**COMISIÓN TÉCNICA**

**Cuestión 33: Seguridad operacional de la aviación y navegación aérea – Control y análisis**

**VIGILANCIA DE LOS SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS)  
Y CIBERSEGURIDAD**

(Nota presentada por la Federación de Rusia)

**REVISIÓN NÚM. 1**

**RESUMEN**

La integración de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en el espacio aéreo controlado significa que dichos RPAS deben ser vigilados por un piloto a distancia así como por el sistema ATM. Se ha demostrado que el método de vigilancia más aceptable es la vigilancia dependiente automática – radiodifusión (ADS-B). La ausencia de datos ciberseguros en la ADS-B 1090 ES significa que los datos deben verificarse mediante datos de radar secundario o MLat para vigilancia en el sistema ATM terrestre. La verificación de la vigilancia aire-a-aire a corta distancia es posible solamente utilizando datos TCAS, lo cual, por razones de costo, elimina de la consideración a una amplia clase de aeronaves no pilotadas pequeñas. Para proporcionar otros servicios de navegación (FIS-B, DGNSS, CPDLC, AOC), se necesitarán varios otros enlaces de datos. Estas carencias desaparecen si usamos un enlace de comunicación VDL-4. Además, una red de a bordo autoorganizada (SOAN) construida con VDL-4 resuelve completamente los problemas de ciberseguridad.

<i>Objetivos estratégicos:</i>	Esta nota de estudio se relaciona con el Objetivo estratégico Seguridad operacional.
<i>Repercusiones financieras:</i>	Financiación dentro del Presupuesto del Programa regular de la OACI.
<i>Referencias:</i>	<i>Manual de vigilancia aeronáutica (Doc 9924)</i> Notas de estudio de la Comisión de vigilancia de la OACI ASWG TSG WP02-27, SP-ASWG/3 WP-24

<sup>1</sup> La versión en ruso fue proporcionada por la Federación de Rusia.

## 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Cuando los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) vuelan en espacio aéreo controlado, deben ir acompañados de vigilancia, tanto por un piloto a distancia como por varios usuarios del sistema ATM.

1.2 La postura general de la OACI con respecto a la vigilancia de cualquier aeronave en la ATM terrestre es utilizar los siguientes métodos y herramientas:

- a) vigilancia radar basada en el radar secundario en Modos A/C/S; debe haber un transpondedor a bordo del RPAS;
- b) MLat – uso del sistema de vigilancia de multilateración (MPSN); debe haber un transmisor a bordo del RPAS;
- c) ADS-B empleando señales de navegación por satélite; debe haber un transmisor ADS-B Out a bordo del RPAS.

1.3 El RPAS debe ser vigilado por el sistema ATM terrestre utilizando uno de los tres métodos mencionados o una combinación de ellos.

1.4 El RPAS también debe ser vigilado por el piloto a distancia en la estación de pilotaje a distancia (RPS).

1.5 El uso de equipo a bordo de un RPAS en modo de transpondedor de radar secundario requiere que la RPS tenga instalado un radar secundario. Actualmente, la gran mayoría de los RPAS en el mundo (hasta el 90%) tienen un peso de 30 kg. En los mejores casos, la RPS está emplazada en un pequeño camión o camioneta, o el piloto a distancia cuenta con equipo para vigilar o controlar el RPAS. El uso de un radar secundario para RPAS desde la posición RPS no es factible por razones de costo, tamaño, consumo de energía y otros parámetros técnicos.

1.6 Una RPS móvil también elimina la posibilidad de utilizar MPSN, que consiste en un conjunto de radiorreceptores sincronizados en tiempo y emplazados a bastante distancia unos de otros (15-20 km y más aún).

1.7 La ADS-B es el único método aceptable de vigilar los RPAS a partir de la RPS. Además, solo la ADS-B puede asegurar una vigilancia aire-a-aire directa. Como resultado, los pilotos adquieren conciencia de la situación. Aparte de los servicios de vigilancia, otros servicios de navegación aérea serían de interés (aplicaciones adyacentes), implantándose mediante el uso del mismo enlace de datos que proporciona servicios ADS-B. Debido a limitaciones de masa y potencia, no es posible utilizar respondedores de radar secundario o transmisores MPSN a bordo del RPAS.

## 2. ENLACES DE TRANSMISIÓN DE DATOS PARA IMPLANTACIÓN DE ADS-B

2.1 Examinemos los enlaces de datos normalizados por la OACI para ADS-B. Estos comprenden:

- a) señales espontáneas ampliadas en 1090 MHz (1090 ES);

- b) enlace de datos VHF en Modo 4 (VDL-4); y
- c) transceptor de acceso universal (UAT) en 978 MHz.

2.2 El UAT se utiliza para aplicaciones regionales en los Estados Unidos. Con arreglo al Anexo 5, Volumen 5, la frecuencia 978 MHz debe utilizarse no para vigilancia sino para navegación. EUROCONTROL anunció que el enlace de datos UAT no se utilizará en el futuro.

2.3 Al mismo tiempo, los EUA y Europa, en sus programas NextGen y SESAR respectivamente, han anunciado que todas las aeronaves deben estar equipadas con los dispositivos comerciales 1090 ES Out, a partir de 2020. Una gran mayoría de las aeronaves comerciales Airbus y Boeing ya tienen instalado el enlace de datos 1090 ES Out como parte de su equipo de a bordo. La función ADS-B-In no se considera obligatoria en los programas NextGen y SESAR.

2.4 Los inconvenientes de la ADS-B en la base 1090 ES comprenden la interferencia o saturación si hay una alta densidad de tránsito aéreo, lo que provoca la creación de capas de señales dado que las señales no pueden distinguirse unas de otras. Por estas razones, la distancia eficaz de la ADS-B es 50-70 km en zonas con tránsito aéreo intenso. Dado que la función ADS-B-In no es obligatoria, las aeronaves que envían mensajes ADS-B no tienen información sobre las condiciones de la radiodifusión y no saben si su señal alcanzará a los usuarios del espacio aéreo.

2.5 La desventaja decisiva de la ADS-B en base 1090 ES es su transparencia respecto de usuarios no autorizados y su carencia de ciberseguridad. Al enviar mensajes ADS-B falsos en el marco ADS-B 1090 ES, no hay un mecanismo para diferenciar los verdaderos mensajes de los falsos.

2.6 Un estudio realizado por Costin, Strohmeier, Lenders, Martinovic y un estudio del propio GosNIIAS (Instituto Estatal de Investigaciones Científicas de Sistemas de Aviación) han demostrado la necesidad de dar carácter obligatorio al uso de datos de radar secundario o MLat para verificar los datos ADS-B como parte del enlace de datos 1090 ES en el sistema ATM, según se indica en el Manual de vigilancia aeronáutica (Doc 9924) de la OACI y en los documentos de 2016, ASWG TSG WP02-27, SP-ASWG/3 WP-24. Pero en este caso, debido a los elevados costos del radar secundario y MLat, ese tipo de ADS-B no es muy eficaz y, desde el punto de vista técnico, es sencillamente innecesario dado que para determinar la ubicación de la aeronave en el sistema ATM, el SR y el MLat son autosuficientes y no se requiere ADS-B. En opinión de la OACI, la verificación de los datos de vigilancia aire-a-aire para la ADS-B en la base 1090 ES es posible solamente con el Sistema de alerta de tránsito y anticolidión (TCAS) dentro de una distancia limitada. Además, la vigilancia aire-a-aire en particular es de mayor interés para la aviación general, helicópteros, RPAS, que no están equipados con TCAS y que vuelan a bajos niveles para los cuales el servicio a las aeronaves mediante sistemas ATM terrestres resulta problemático, desde el punto de vista práctico – no siempre en demanda, y más que nada desde una perspectiva económica – la implantación de un sistema ATM en regiones de mucho tránsito, donde tienen lugar por semana varios vuelos de aviación general o helicópteros, nunca resultará rentable. En estas regiones, la prioridad es utilizar ADS-B-In sin emplear un sistema ATM, pero si los datos de vigilancia de las aeronaves en el sistema ATM con ADS-B-Out 1090 ES pueden verificarse con datos SR o MLat, entonces los datos de vigilancia aire-a-aire dentro de la ADS-B 1090 ES en principio no pueden verificarse sin el TCAS, como lo confirmó la Comisión de vigilancia de la OACI.

2.7 Es así que la implantación de ADS-B 1090 ES exigirá mantener y continuar desarrollando una infraestructura terrestre para SR o MLat a efectos de resolver parcialmente problemas de ciberseguridad (pero entonces se pierde la ventaja principal de introducir la ADS-B). Lamentablemente debemos preguntarnos por qué necesitamos la ADS-B 1090 ES, si se basa en SR o MLat que ejecutan

perfectamente bien y con ciberseguridad la tarea de encontrar las aeronaves en el sistema ATM. La ADS-B en el sistema ATM fue concebida para sustituir al SR o MLat debido a que es mucho menos costosa, más precisa y más ecológica. Ahora resulta que sin SR o MLat, la ADS-B 1090 ES no puede vivir en forma independiente. El hecho de que el TCAS está en modo híbrido - ADS-B en la etapa 1 y TCAS solo en la etapa 2, no constituye una razón válida. El sistema puede funcionar como TCAS solo sin ninguna ADS-B y además, como se demostró anteriormente, no se puede confiar plenamente en los datos de vigilancia de ADS-B-Out de a bordo de otros aviones debido a interferencias por simulación de señales, que puede hacerse fácilmente mediante RPAS lanzados especialmente, por ejemplo. Y finalmente, la cuestión fatal: ¿cómo sabrán los pilotos a distancia de los RPAS con masa de despegue de unos 30 kg si las señales del ADS-B-Out son fiables o no? A bordo de los RPAS no hay SR, MLat, o TCAS.

2.8 Tratemos ahora el asunto de cómo se resolverán los problemas de ciberseguridad utilizando VDL-4.

2.9 Los mensajes ADS-B falsos pueden utilizarse incluso cuando se emplea VDL-4; no obstante, hay un mecanismo, permitido por las normas, que hace posible medir la distancia entre el remitente del mensaje y su receptor y, de esa manera, se puede establecer cuáles mensajes ADS-B son legítimos.

2.10 Un receptor, ya sea el sistema ATM o la aeronave, recibe un mensaje ADS-B de un remitente que contiene las coordenadas de éste. Conociendo sus propias coordenadas, el recipiente calcula la distancia entre el remitente y él mismo. Al mismo tiempo, se utiliza la propiedad fundamental del VDL-4. Como se definió en la norma de la OACI, el mensaje tiene marcación de hora. Cuando el remitente envía el mensaje, inserta la hora con alta precisión. El recipiente también marca la hora de recepción con respecto a la escala de tiempo. Habiendo calculado las horas en que el mensaje fue enviado y recibido y multiplicado las mismas por la velocidad de distribución de onda electromagnética (velocidad de la luz), el recipiente calcula la distancia real medida entre el remitente y el recipiente. Si las distancias entre el remitente y el recipiente calculadas por diferentes métodos con precisión aceptable se corresponden con un margen de error de 1-2%, se considera que el remitente es fiable. Si no se corresponde, el recipiente llega a ciertas conclusiones e informa a los usuarios vecinos que el remitente no es fiable.

2.11 Este proceso de verificación de mensajes funciona en aeronaves con VDL-4 para vigilancia aire-a-tierra y aire-a-aire. Suponemos que en el sistema ATM terrestre hay un dispositivo con VDL-4 sin servicio para la RPAS que interactúe con el sistema ATM de computadora a computadora. La verificación de los datos para vigilancia basada en tierra se realiza dentro de la ADS-B real utilizando VDL-4 y no exige datos SR o MLat. La vigilancia a bordo para aeronaves equipadas se verifica en forma similar; el piloto a distancia del RPAS recibe información sobre el emplazamiento de la aeronave no equipada mediante la función TIS-B y el emplazamiento de la aeronave no equipada se determina utilizando los métodos acostumbrados para dicho sistema ATM.

2.12 Cabe señalar que, contrariamente al enlace de datos 1090 ES que ejecuta solo una función principal (vigilancia), el enlace de datos VDL-4 tiene muchas otras funciones, lo que significa que las aeronaves con enlace de datos 1090 ES y sistema ATM deberán contar con no menos de tres enlaces de datos adicionales para transmitir información de vuelo, señales sobre la integridad de la navegación por satélite, correcciones diferenciales, comunicaciones punto a punto para CPDLC y AOC de la línea aérea, así como de otros tipos. Dado que el VDL-4 puede funcionar simultáneamente en diversas frecuencias, todas las funciones se ejecutan dentro de un dispositivo que pesa menos de 150 g.

Cuando se utiliza la función TIS-B, la función DAA basada en tierra impide colisiones entre las aeronaves equipadas con VDL-4 y las no equipadas con ese sistema.

2.13 Las redes de a bordo autoorganizadas (SOAN) que utilizan VDL-4 son un área prometedora del desarrollo de la ADS-B. En la 12ª Conferencia de navegación aérea, se adoptaron decisiones reconociendo que esta solución técnica tiene sentido. Aparte del carácter robusto de la función y de que proporciona vigilancia cuando no hay visibilidad directa de radio entre el RPAS y la RPS apoyada por la red de RPAS en el aire, las SOAN resolverán los problemas de seguridad de la aviación en forma radical. Un sistema de claves y criptografía asegurará la completa autenticación de los mensajes de radio e impedirá que éstos sean interceptados, falsificados, dañados, etc., satisfaciendo plenamente los retos de ciberseguridad.

### 3. CONCLUSIÓN

3.1 Teniendo en cuenta el carácter específico de los RPAS, desde la posición de la RPS, lo mejor sería una vigilancia coordinada del RPAS mediante el piloto a distancia utilizando ADS-B.

3.2 El enlace de datos 1090 ES no proporciona ciberseguridad para los datos ADS-B. Los datos deben verificarse en el sistema de vigilancia terrestre utilizando radar secundario o MLat. No hay herramientas satisfactorias para verificar los datos de a bordo del RPAS. Para implantar funciones como FIS-B, DGNSS, CPDLC, AOC y otras se requieren por lo menos tres enlaces de datos adicionales.

3.3 El enlace de datos VDL-4, con arreglo a la norma, protege el emplazamiento de la aeronave en el sistema ATM terrestre o durante vigilancia de a bordo con su propia ADS-B. Otros servicios aeronáuticos también se realizan con VDL-4. Las redes de a bordo autoorganizadas que emplean VDL-4 tienen un considerable potencial, en particular cuando se trata de la ciberseguridad.

3.4 Se invita a la Asamblea a:

- a) tomar en consideración los beneficios de que el piloto a distancia y el sistema ATM utilicen ADS-B al vigilar los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS);
- b) tomar en consideración que los datos de ADS-B 1090 ES no son ciberseguros y deben verificarse con datos de radar secundario o MLat para la vigilancia en el sistema ATM terrestre y que no existen métodos de verificación aceptables para la vigilancia a bordo;
- c) tomar en consideración los beneficios de utilizar el enlace de datos VDL-4 para implantar la vigilancia de los RPAS y aplicaciones conexas, incluyendo la consideración de la posibilidad de emplear redes de a bordo autoorganizadas (SOAN).