УДК 656.71.057:629.7.067.083(045)

П. В. Попов, канд. техн. наук, доц.,
Квач Ю. М., канд. техн. наук, доц.

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ТОПОЛОГІЧНИХ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ПІДКЛЮЧЕННЯ АЕРОДРОМНИХ ВОГНІВ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: juli_k74@mail.ru

Розглянуто забезпечення безпеки польотів при візуальному пілотуванні в складних метеорологічних умовах як пріоритетний напрям розвитку світлосигнальних систем посадки аеродромів. Визначено параметри безпеки польотів і нормативи до показників надійності функціональних груп вогнів для спрощення топологічної і електричної схем підключення аеродромних вогнів.

Ключові слова: безпека польотів, складні метеорологічні умови, світлосигнальні системи аеродрому, показники надійності, топологічна схема.

Вступ. Під світлосигнальною системою аеродрому (ССА) розумітимемо сукупність електросвітлотехнічних пристроїв, розташованих за певною топологічною схемою на території аеродрому та призначених для забезпечення пілота повітряного судна (ПС) візуальною інформацією під час виконання зльоту, заходу на посадку, посадки та руління в умовах обмеженої дальності видимості вдень і вночі. Основною метою функціонування ССА є забезпечення безпечної експлуатації ПС на етапах візуального пілотування під час зльоту і посадки, а також під час руху по злітно-посадковій смузі (ЗПС) і рулильних доріжках (РД) аеродрому вночі і вдень у складних метеорологічних умовах (СМУ). Як приклад на рис. 1 показано топологічну схему ССА для II категорії складності посадки ІСАО типу Альпа-Ата. Така схема розглядається як конкурентоспроможна зі схемою, зображеною на рис. 2, оскільки у випадку СМУ вогні на ділянці від ближнього привідного радіомаяка (БПРМ) до кінцевої смуги безпеки використовуються для більш дальнього виявлення світлозасобів, ніж для світлоорієнтування.

Крім вогнів наближення і вхідних вогнів (рис. 1, 2), на ЗПС розташовані бічні й осьові вогні, вогні зони приземлення на ділянці 600 м від торця ЗПС і обмежувальні вогні, що позначають кінець ЗПС.

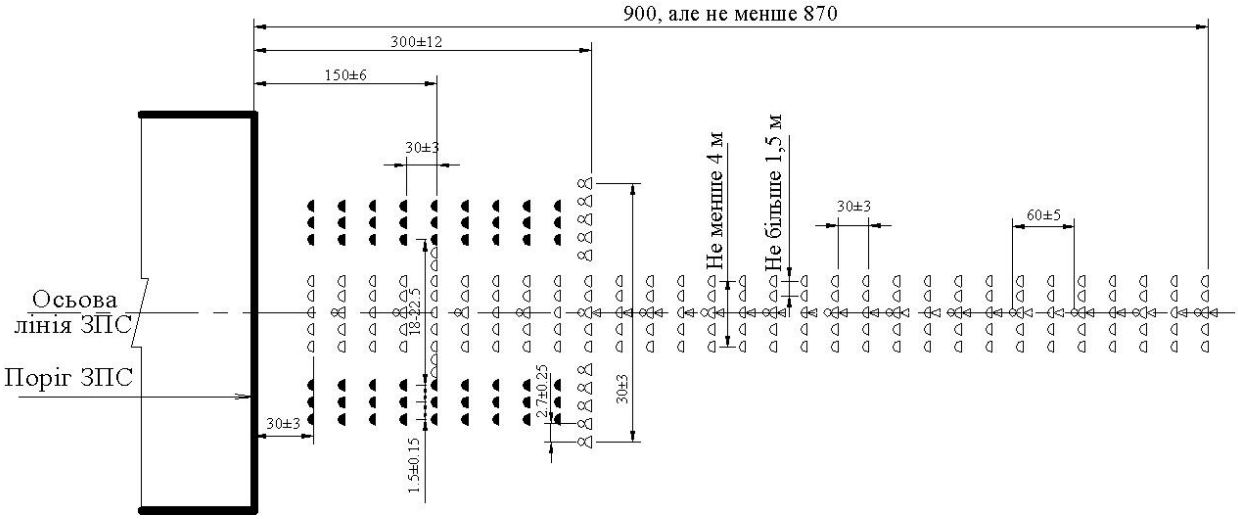


Рис. 1. Топологічна схема розташування світлосигнальних вогнів для II категорії складності посадки типу Альпа-Ата: ⊐ – вогні наближення та світлового горизонту прожекторні, білі; ○ – вогні наближення та світлового горизонту кругової оглядовості, білі; ▷ – вогні наближення імпульсні, білі; ◀ – бічні вогні наближення, червоні

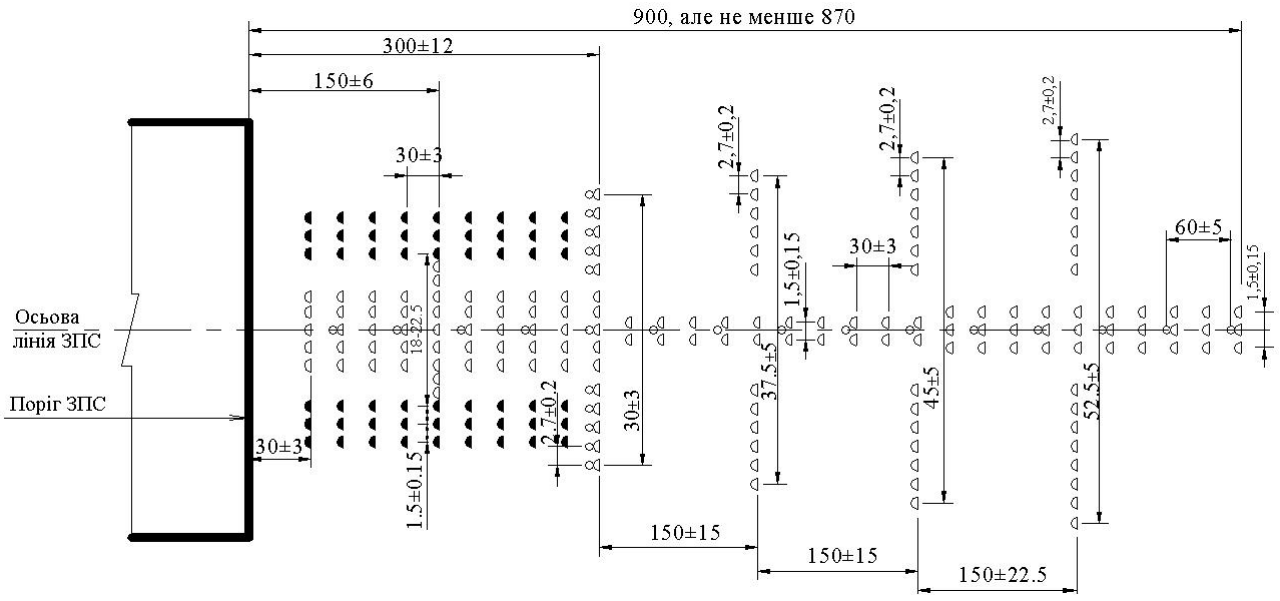


Рис. 2. Топологічна схема розташування світлосигнальних вогнів для II категорії складності посадки типу Кальверта: ⊏ – вогні наближення та світлового горизонту прожекторні, білі; ○ – вогні наближення та світлового горизонту кругової оглядовості, білі; ◖ – бічні вогні наближення, червоні

Аналіз досліджень та публікацій. Аналіз розглянутих технологічних етапів взаємодії екіпажу з вогнями ССА і зіставлення їх з вимогами [1], або [2] із забезпечення нормованого рівня безпеки польотів дозволяє зробити висновок: вимоги АП-25 [1] поширюються на ССА як до частини авіаційної транспортної системи, що впливає на очікувані умови експлуатації ПС з технологічним використанням засобів ССА екіпажем ПС. Нормовані вимоги АП-25, або ЕНЛГС [2] із забезпечення безпеки польотів повинні визначати склад ССА і його технічні характеристики.

Постановка завдання. Проаналізувати технологічні етапи спостереження екіпажем ПС вогнів ССА, користуючись вимогами забезпечення нормованого рівня безпеки польотів. Визначити параметри безпеки польотів і нормативів надійності функціональних груп вогнів (ФГВ), що дасть можливість спростити топологічну й електричну схеми підключення аеродромних вогнів.

Основна частина. Для руху по РД установлюються бічні й осьові вогні РД. Технологічну схему функціонального використання ССА екіпажем ПС відповідно до вимог [1] показано на рис. 3.

Проаналізуємо технологічні етапи t_i спостереження екіпажем ПС вогнів ССА (рис. 1, 2), що входять у два технологічні інтервали ΔT_i, характерні для зльоту – $\Delta T_{зл}$, і посадки ПС – $\Delta T_{пос}$:

– перший етап t_1 – ділянка траєкторії зниження ПС по глісаді від точки *1* до точки *2*, з моменту виявлення вогнів ССА екіпажем на висоті H_0 ділянка траєкторії зниження ПС по глісаді від точки *1* до точки *2*, з моменту виявлення вогнів ССА екіпажем на висоті $H_{впр}$;

– другий етап t_2 – ділянка траєкторії зниження ПС від точки *2* до точки *3*, з моменту часу прольоту висоти H_{min} до моменту часу торкання шасі ПС ЗПС. Цей етап характерний тим, що екіпаж уже не в змозі виконувати друге коло і за будь-яких умов польоту вимушений продовжувати посадку;

– третій етап t_3 – ділянка руху ПС по ЗПС від дотику точки *3* до точки *4*, з'їжджання ПС із ЗПС на РД. Цей етап характерний високою швидкістю руху ПС по ЗПС і поступовим її зниженням до допустимої для з'їжджання на РД;

– четвертий етап t_4 – ділянка руху ПС по мережі РД і перону від точки *4* до точки *5*, з моменту часу з'їжджання ПС із ЗПС до моменту часу повної зупинки ПС на пероні. Цей етап

характеризується рухом ПС по стандартному маршруту руління з використанням засобів ССА. Під час руху ПС, як правило, перетинаються безліч РД, по яких відбувається інтенсивний рух обслуговуючого аеродромного транспорту й інших ПС;

– п'ятий етап t_5 повторює четвертий етап t_4, але рух ПС відбувається у зворотному напрямі – це ділянка руху ПС по перону і мережі РД від точки *5* до точки *4*.

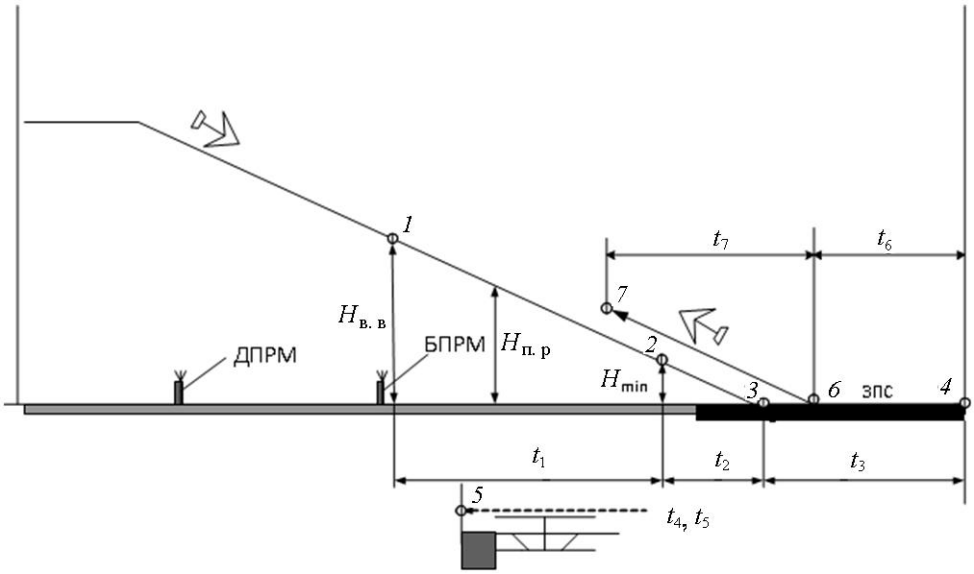


Рис. 3. Технологічна схема функціонального використання вогнів ССА екіпажем ПС під час посадки і зльоту: $H_{в.в}$ – висота виявлення вогнів аеродромного світлосигнального комплексу; $H_{п.р}$ – висота прийняття рішення; H_{min} – мінімально допустима висота відходу на друге коло

Етап починається з моменту часу початку руху ПС по перону і мережі РД з використанням поглиблених вогнів перону (за їх наявності), або вказівних знаків і світлофорів. Закінчується п'ятий етап моментом часу зупинки ПС на виконавчому старті ЗПС. Для цього етапу характерні такі ж умови експлуатації ПС, як і для четвертого етапу під час посадки ПС;

– шостий етап t_6 – ділянка руху ПС від точки *4* до точки *6* на ЗПС, що відповідає моментам часу початку розгону ПС від виконавчого старту до моменту часу відриву шасі ПС від ЗПС. Особливістю етапу є поступове наростання швидкості руху ПС від нульової на виконавчому старті до злітної у точці відриву шасі від ЗПС;

– сьомий етап t_7 – траєкторія руху ПС від точки *6* до точки *7* з моменту часу відриву шасі ПС від ЗПС до моменту часу закінчення візуального контакту екіпажу ПС з вогнями аеродромного світлосигнального комплексу.

Таким чином, технологічні інтервали часу ΔT_i, під час яких екіпаж ПС функціонально взаємодіє зі світлосигнальними вогнями ССА визначаються виразами:

$$\Delta T_{пос} = \sum_{t_0}^{t_k} t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad t_i \in [t_0,\ t_k];$$

$$\Delta T_{зл} = \sum_{t_0}^{t_k} t_i = t_5 + t_6 + t_7, \quad t_i \in [t_0,\ t_k],$$

де t_i – час, що потрібен екіпажу ПС для виконання технологічного етапу на ділянках траєкторії зниження і руху ПС по ЗПС і РД; t_0, t_k – початок і закінчення i-го технологічного етапу.

Аналіз розглянутих технологічних етапів і зіставлення їх з вимогами [1] або [2] із забезпечення нормованого рівня безпеки польотів дозволяє зробити висновок: вимоги АП-25 [1] поширюються на ССА як до частини авіаційної транспортної системи, що впливає на очікувані умови експлуатації ПС при технологічному використанні засобів ССА екіпажем ПС. Нормовані вимоги АП-25, або ЕНЛГС [2] із забезпечення безпеки повинні визначати

склад ССА і його технічні характеристики. Згідно з технологічною схемою (рис. 3) залежно від технологічного етапу взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА до різних ФГВ ССА необхідно ставити різні вимоги АП-25. Цей висновок зумовлений тим, що технічний стан ФГВ ССА впливає на міру сприйняття пілотом вогнів у СМУ і як наслідок на очікувані умови експлуатації ПС. Результат польоту ПС в СМУ залежить, як правило, від правильності прийняття рішення командиром ПС про виконання посадки. Проте на різних технологічних етапах функціонального використання засобів ССА екіпажем ПС залежно від правильності або помилковості прийнятого рішення командиром ПС результат польоту може бути різним – від успішного до катастрофічного.

Для ФГВ АСК, що використовуються пілотом під час руху по ЗПС і РД (етапи t_4, t_5), АП–25 (ЕНЛГС) вимагає, аби відмови технічних систем, використовуваних на цих етапах, були не більше ніж малоймовірні і становили 10^{-5} … 10^{-7} год $^{-1}$ (п.п. 3.8.1 і 3.2.4 НЛГС).

Для функціональної системи АТС, відмова яких може призводити до аварійної або катастрофічної ситуації, ці системи згідно з нормами АП-25 (ЕНЛГС, п.п. 2.2.5) мають бути сконструйовані так, щоб:

– або наявний досвід дозволяв вважати відмову малоймовірною – 10^{-9} год $^{-1}$;

– або використовуване резервування зберігало після двох послідовних відмов можливість продовження польоту в умовах, не гірших ніж ускладнення умов польоту – 10^{-3} … 10^{-5} год $^{-1}$.

Із ФГВ АСК цією вимогою АП-25 (ЕНЛГС) [1; 2] можна вважати топологічну групу вогнів, візовану екіпажем ПС з висоти, близької до $H_{\min}$, оскільки після прольоту цієї висоти відхід на друге коло неможливий і екіпаж вимушений продовжувати посадку (етап t_2). Відмова ФГВ АСК у СМУ на цьому технологічному етапі призводить до миттєвої дезорієнтації пілота в просторі. У цій ситуації результат польоту може бути будь-яким, аж до катострофічної ситуації. Використовуване топологічне резервування ФГВ АСК (рис. 3), покликане забезпечувати умови посадки, не гірше ніж ускладнення умов польоту на цьому етапі, проте статистика авіаційних подій свідчить, що саме на цьому етапі відбувається до 60 % усіх авіаційних подій, зумовлених чинником СМУ. Це свідчить, що ефективність топологічного резервування ФГВ АСК під час польотів у СМУ за умовами I – III категорій ІСАО явно недостатня, або в умовах СМУ не ефективна.

Якщо відмова функціональної системи авіаційної транспортної системи призводить до виникнення особливої ситуації у польоті, то згідно з вимогами [1; 2] екіпажу ПС має бути забезпечена можливість:

– своєчасного виявлення відмови;

– ліквідації несприятливих наслідків відмови;

– завершення польоту з авіаційною транспортною системою, що відмовила функціональна система.

За час, який необхідний екіпажу для виконання дій, указаних у праці [1], особлива ситуація не повинна переходити в аварійну і катострофічну ситуації.

Аналіз технологічних етапів спостереження екіпажем ПС вогнів ССА, топологічних і світлотехнічних характеристик ССА, а також статистики авіаційних подій показує, що під час польотів у СМУ екіпаж своєчасно може і не визначити місцеперебування у просторі через відмови вогнів ССА, або інших причин, наприклад, раптового погіршення видимості. Перший абзац вимог АП-25 (ЕНЛГС, п.п. 2.2.6) явно нездійсненний стосовно існуючого технічного рівня експлуатованих натепер ССА. Але навіть якщо екіпаж і виявив відмови вогнів і ці відмови істотно вплинули на процес визначення екіпажем просторового положення ПС відносно торця ЗПС, компенсувати наслідки цих відмов він може не на всіх технологічних етапах використання ССА. Тобто і другий абзац цих вимог ЕНЛГС (або АП-25) експлуатовані нині ССА не забезпечують. Нарешті під час польотів у СМУ за умовами III ІСАО екіпаж ПС не може успішно завершити політ, або зліт з ФГВ, що відмовила, виходячи з вимоги третього абзацу п.п. 2.2.6 ЕНЛГС (АП-25).

Таким чином, екіпаж ПС під час польотів у СМУ часто не може своєчасно виявляти відмови вогнів ССА, не допустить відхилення траєкторії зниження ПС від глісади, оскільки технічні й топологічні характеристики експлуатованих ССА не забезпечують пряму однозначну сигналізацію екіпажу ПС про ці відмови, або просторові відхилення на етапах технологічної взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА.

За результатами виконаного аналізу у таблиці наведено вимоги АП-25 (ЕНЛГС) для забезпечення нормованого рівня безпеки польотів для ФГВ ССА як складової частини авіаційної транспортної системи на технологічних етапах t_i.

Вимоги АП-25 (ЕНЛГС) до показників безпеки на технологічних етапах t_i взаємодії екіпажу ПС зі світлосигнальними вогнями ССА

Етап польоту, ΔT_i	Технологічний етап за рис. 3	Класифікація особливих ситуацій	Нормований показник езпеки польотів за НЛГС, год $^{-1}$
$\Delta T_{\text{пос}}$	t_1	УУП	10^{-3} … 10^{-5}
	t_2	АС або КС	10^{-6} … 10^{-7} або 10^{-9}
	t_3	СС	10^{-5} … 10^{-6}
	t_4	УУП	10^{-3} … 10^{-5}
$\Delta T_{\text{зл}}$	t_5	УУП	10^{-3} … 10^{-5}
	t_6	СС	10^{-5} … 10^{-6}
	t_7	УУП	10^{-3} … 10^{-5}

Висновки. Проведений аналіз показав, що для ФГВ ССА можна встановлювати показники надійності за умов вимог, сформульованих у таблиці. Причому для цих ФГВ нормовані показники надійності приймаються більшими, або нижчими від указаних значень в останній графі таблиці, відповідно до технологічних етапів пілотування t_i, для конкретного аеропорту залежно від економічної доцільності й інтенсивності повітряного руху. Тому є можливість для деяких аеропортів значно спростити топологічну й електричну схеми підключення аеродромних вогнів.

Список літератури

1. *Нормы* лётной годности самолётов транспортной категории. – М.: МАК, 1993. – 127 с.
2. *Нормы* проектирования светосигнального и электрического оборудования систем воздушних судов в аеропортах. ВСН-86. – М.: МГА, 1987. – 63 с.
3. *Нормы* годности к эксплуатации в СССР гражданських аэродромов. – М.: Воздуш. трансп., 1983. – 157 с.

П. В. Попов, Ю. М. Квач

Определение нормативных показателей безопасности полетов для упрощения топологических и электрических схем подключения аэродромных огней

Рассмотрено обеспечение безопасности полетов при визуальном пилотировании сложных метеорологических условиях как приоритетное направление развития светосигнальных систем посадки аэродромов. Определены параметры безопасности полетов и нормативы к показателям надежности функциональных групп огней для упрощения топологической и электрической схем подключения аэродромных огней.

P. V. Popov, Yu. N. Kvach

Defining the normalized safety indicators to facilitate the topological and electrical circuits airfield lights

Ensuring safety for visual flying in adverse weather conditions is a priority for landing airfield lighting systems. Defining the parameters of safety and reliability of the normalized functional groups of lights to simplify the topological and electrical wiring diagram airfield lights.