

-
6. Официальный веб сайт системы производителя систем динамического позиционирования Kongsberg <http://www.kongsberg.com>
 7. Joseph L. DP for cruise ships / <http://www.highbeam.com/doc/1G1-65227149.html>
 8. Wright W. Oasis class cruise ships use DP controls and thrusters for faster berthing / Wright W. // Marine Electronics & Communication. - 2011. – April/May 2011. –P. 56.

Черепков С.Т., Колесник О.П.

ОБГРУНТУВАННЯ ПОСИЛАНЬ ДО ЗМІНИ ЧИННОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СИСТЕМ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В НАЦІОНАЛЬНИХ МОРСЬКИХ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ТОВАРИСТВАХ

Проводиться огляд класифікацій систем динамічного позиціонування(СДП) міжнародних класифікаційних товариств з метою обґрунтування посилань до доповнення існуючої класифікації. Вперше порівнюються визначення класів СДП Регістру судноплавства України з визначеннями міжнародних класифікаційних товариств.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, класифікація систем динамічного позиціонування, показники якості систем динамічного позиціонування.

Cherepkov S. T., Kolesnyk O.P.

RATIONALE FOR CHANGE PREREQUISITES THE CURRENT CLASSIFICATION SYSTEM OF DYNAMIC POSITIONING IN NATIONAL MARINE CLASSIFICATION SOCIETIES

Reviews the classification of the dynamic positioning system (DPS) of international classification societies, to justify the prerequisites to complement the current classification. First compare the class designation DPS Shipping Register of Ukraine with the notation of international classification societies.

Keywords: dynamic positioning, classification of dynamic positioning systems, indicators of quality dynamic positioning systems.

УДК 629.735.05:621.3(045)

Мачалин И.А.

СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ

Предложена методика оптимизации различных вариантов стратегий технического обслуживания транспортных систем навигации и связи с использованием наземных автоматизированных средств контроля. Показаны условия эффективности внедрения каждой из стратегий.

Ключевые слова: техническое обслуживание, контроль работоспособности, автоматизированная система контроля, эксплуатационные затраты.

Постановка проблемы. В настоящее время как воздушные, так и морские суда оснащаются сложными системами навигации и связи. Усложнение этих систем с одной стороны обеспечивает повышение безопасности полетов и судовождения, с другой стороны снижает их уровень надежности. Кроме того, современные электронные системы строятся по цифровому принципу, они подвержены сбоям в работе как технических средств, так и программного обеспечения. Это приводит к тому, что по результатам контроля работоспособности (КР) на борту с помощью встроенных систем контроля часть легкоъемных блоков систем, которые демонтированы с борта воздушного судна (ВС), ошибочно признаются неработоспособ-

ными, демонтируются и отправляются на восстановление, что влечет за собой существенные эксплуатационные издержки. Согласно статистическим данным авиакомпаний, от 40 до 85% демонтированных блоков на самом деле являются работоспособными [1]. Это порождает проблему так называемых неподтвержденных дефектов. Большое количество неподтвержденных дефектов влечет за собой необходимость неоправданного увеличения объема обменного фонда (ОФ) запасных блоков для поддержания регулярности полетов, что приводит к значительным капитальным затратам. Снижение этих затрат возможно за счет использования наземных автоматизированных систем контроля (НАСК), осуществляющих перепроверку демонтированных блоков с высокой достоверностью и предотвращающих ошибочную отправку работоспособных блоков на восстановление. Однако приобретение и эксплуатация систем контроля также требует значительных инвестиций. Поэтому эффективность эксплуатации ВС непосредственно определяется выбором оптимальной стратегии организации системы технического обслуживания (ТО), который основывается на решении комплекса задач диагностического, методического, нормативного обеспечения и оптимального формирования ОФ.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам оптимизации процесса технического обслуживания транспортных систем посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов [2-3]. В ряде работ оптимизация осуществляется по вероятностным критериям, в частности по критерию максимума коэффициента готовности систем. В других работах используются технико-экономические критерии. Однако, в настоящее время отсутствует комплексный критерий, позволяющий в аналитическом виде взаимоувязать эксплуатационные затраты, стоимость обменного фонда (запасных частей) и показатели достоверности контроля, от которых в значительной мере зависит правильность принятия решения о демонтаже блоков с борта.

Цель работы и постановка задачи исследования. Таким образом, целью настоящей работы является разработка математической модели и критерия для оптимизации стратегии технического обслуживания систем связи и навигации.

Одним из путей сокращения количества неподтвержденных дефектов является использование эксплуатантами наземных автоматизированных систем контроля (НАСК) в базовых портах, которые позволяют осуществлять перепроверку демонтированных блоков и предотвращать ошибочную отправку работоспособных блоков на восстановление. Как показывает анализ построения систем ТО отечественных и зарубежных ВС нового поколения [4], с учетом особенностей конструктивного исполнения современных РЭС можно выделить три уровня ТО.

Первый уровень заключается в ТО систем в полете или на стоянке ВС. Здесь с помощью ВСК производится КР блоков. Забракованный по результатам контроля блок поступает на второй уровень ТО.

Второй уровень предусматривает ТО демонтированного блока, которое может осуществляться на заводе-изготовителе (ЗИ), в базовом аэропорту (БА) или в центре ТО и ремонта. На этом уровне КР и поиск места отказа в блоках производятся с помощью НАСК-1. Поиск места отказа в блоке может осуществляться с глубиной до конструктивно-сменных модулей (КСМ) с помощью НАСК-2. Восстановление работоспособности блоков производится путем замены отказавших КСМ.

Третий уровень – это восстановление КСМ. Для КР и поиска места отказа в КСМ с глубиной до одного или нескольких невосстанавливаемых элементов (НЭ) может применяться НАСК высокого уровня (НАСК-3).

Таким образом, в зависимости от уровня диагностического обеспечения возможны следующие стратегии построения системы ТО:

эксплуатант не имеет НАСК в БА, при этом все демонтированные блоки отправляются для восстановления на ЗИ или в центр ТО и ремонта. Запасные исправные блоки поступают для монтажа на борт из ОФ;

эксплуатант имеет НАСК-1, которая позволяет осуществлять КР демонтированных блоков. При этом, вследствие высокой достоверности контроля НАСК-1, практически все ошибочно демонтированные блоки возвращаются для монтажа на борт;

эксплуатант имеет НАСК-2, которая позволяет осуществлять КР демонтированных блоков и производить поиск неисправности в них с глубиной до КСМ. При этом, для восстановления на ЗИ (в центр ТО и ремонта) отправляются блоки, признанные неработоспособными по результатам контроля с помощью НАСК-2. В этом случае в БА создается ОФ, состоящий из КСМ, необходимых для восстановления блоков;

эксплуатант имеет НАСК-3, которая позволяет осуществлять КР демонтированных блоков и производить поиск неисправности в них с глубиной до НЭ. В этом случае восстановление блоков осуществляется непосредственно эксплуатантом, а ОФ состоит из КСМ и НЭ.

Из множества рассмотренных стратегий организации ТО выделим для исследования два варианта, которые в настоящее время применяются отечественными эксплуатантами, поскольку НАСК-2 и НАСК-3 являются очень дорогостоящими:

вариант W_1 – эксплуатант не имеет НАСК и все демонтированные блоки отправляются на завод-изготовитель (ЗИ) для восстановления;

вариант W_2 – в базовом аэропорту используется НАСК для перепроверки блоков, забракованных на борту.

При этом каждый демонтированный блок отправляется на ЗИ только в том случае, если НАСК подтверждает его неработоспособность. Если НАСК не подтверждает результат бортового контроля, то блок устанавливается обратно на борт ВС.

Необходимо произвести исследования, показывающие, при каких условиях и какая стратегия является более эффективной.

Показатели эффективности стратегий ТО. Выбор оптимальной стратегии будем производить по критерию минимума полных эксплуатационных затрат. Полные эксплуатационные затраты в период послегарантийного обслуживания системы можно представить в следующем виде

$$TLEC_w = m \left(\frac{T_0}{MTBUR} \right) \left\{ \sum_{t=1}^{\lceil T/T_0 \rceil} N_{A,t} ECC_{t,t} (1+\varepsilon)^{1-t} \right\} + \sum_{t=1}^{\lceil T/T_0 \rceil} K_t (1+\varepsilon)^{1-t}, \quad (1)$$

где T_0 – средний налет ВС за год;

T – назначенный ресурс системы;

$ECC_{t,t}$ – ожидаемые затраты на одно восстановление (“ложное” или “правильное”) блока в году t ;

$\lceil T/T_0 \rceil$ – целое количество лет эксплуатации блока;

K_t – капитальные затраты в году t ;

m – число однотипных блоков в рассматриваемой системе;

$N_{A,t}$ – количество эксплуатируемых ВС в году t ;

ε – норма дисконта времени, выражаемая в долях единицы или в процентах за год;

$MTBUR$ – средняя наработка блока между незапланированными восстановлениями (mean time between unscheduled repairs).

Полные эксплуатационные затраты для варианта W_1 с учетом формулы (1) можно представить в следующем виде

$$TLEC_{W_1} = m \left(\frac{T_0}{MTBUR} \right) \left\{ \sum_{t=1}^{\lceil T/T_0 \rceil} N_{A,t} ECC_{W_1,t} (1+\varepsilon)^{1-t} \right\} + C_0 \sum_{t=2}^{\lceil T/T_0 \rceil} (\Delta F_t + \Delta MF_t) (1+\varepsilon)^{1-t}. \quad (2)$$

Ожидаемые затраты $ECC_{W_1,t}$ определяются из выражения

$$ECC_{W_1,t} = C_{TO,t}(t_{KP,t} + t_{M,t} + t_{D,t}) + C_{TR,t} + C_{R,t},$$

где $C_{R,t}$ – средняя стоимость восстановления LRU в году t на ЗИ;

$C_{TO,t}$ – стоимость работ по монтажу/демонтажу блоков в час в году t ;

$t_{KP,t}$ – средняя стоимость контроля работоспособности блока на борту;

$t_{M,t}$ и $t_{D,t}$ – соответственно средняя стоимость демонтажа и монтажа блока на борту в году t ;

$C_{TR,t}$ – средняя стоимость транспортировки блока на ЗИ для ремонта и обратно в году t ;

C_0 – стоимость блока;

F_t – запланированное число запасных блоков в ОФ в году t ;

MF_t – незапланированное число запасных блоков, которые будут поставлены с ЗИ для обеспечения регулярности полетов в году t .

Полные эксплуатационные затраты для варианта W_2 , если НАСК–1 был приобретен в году t_0 , включают в себя следующие составляющие

$$\begin{aligned} TLEC_{W_2} = m \left(\frac{T_0}{MTBUR} \right) & \left\{ \sum_{t=1}^{t_0-1} N_{A,t} ECC_{W_2,t} (1+\varepsilon)^{1-t} + \sum_{t=t_0}^{[T/T_0]} N_{A,t} ECC_{W_2,t} (1+\varepsilon)^{1-t} \right\} + \\ & + \frac{C_{НАСК-1}}{M_0} (1+\varepsilon)^{1-t_0} + C_0 (F_1 + M_0 F_1) + C_0 \sum_{t=2}^{[T/T_0]} (\Delta F_t + \Delta MF_t) (1+\varepsilon)^{1-t}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$ECC_{W_2,t} = C_{TO,t}(t_{KP,t} + t_{НАСК,t} + t_{D,t} + t_{M,t}) + P_{ПН}^A (C_{TR,t} + C_{R,t}),$$

где $C_{НАСК,t}$ – средняя стоимость КР блока с помощью НАСК;

M_0 – количество типов блоков которые могут проходить КР с помощью НАСК;

$P_{ПН}^A$ – апостериорная вероятность того, что LRU , забракованный ВСК, действительно находится в неработоспособном состоянии.

Вероятность $P_{ПН}^A$ определяется следующим образом [5]

$$P_{ПН}^A = \frac{(1-\beta)e^{-\lambda_0\tau}(1-e^{-\lambda\tau})}{(1-\beta e^{-\lambda_0\tau})[1-(1-\alpha)e^{-(\lambda+\lambda_0)\tau}]},$$

где τ – интервал между КР блока в БА; α – условная (априорная) вероятность того, что работоспособный блок будет ошибочно забракован бортовой системой контроля (“ложный отказ”); β – условная (априорная) вероятность того, что неработоспособный блок будет ошибочно признан работоспособным бортовой системой контроля (“необнаруженный отказ”); λ – интенсивность отказов блока.

Выражения для $MTBUR$ с учетом работы [5] определяется из выражения

$$MTBUR \approx \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda[1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda\tau}]}$$

Выполним расчет показателей эффективности (2) и (3) для исходных данных, приведенных в табл.1.

Расчет оптимального количества блоков в ОФ выполнялся по методике, приведенной в работе [6]. На рис. 1 приведена диаграмма зависимости полных средних затрат $TLEC$ от среднего времени восстановления для двух вариантов стратегий организации ТО. На рис. 2 приведена диаграмма зависимости количества блоков в ОФ от среднего времени восстановления для двух вариантов стратегий организации ТО.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№ п/п	Наименование данных, единицы измерения	Обозначение	Среднее значение
1.	Средний налет ВС за год, ч	T_0	2000
2.	Среднее время между КР, ч	τ	2,0
3.	Количество ВС, находящихся на обслуживании в году t , шт.	$N_{A,t}$	5
4.	Средняя продолжительность КР, ч	t_{KP}	0,10
5.	Среднее время монтажа блока на борт ВС, ч	t_M	0,25
6.	Среднее время демонтажа блока с борта ВС, ч	t_D	0,25
7.	Среднее время технической стоянки ВС, ч	t_C	1,0
8.	Средняя удельная стоимость работ по оперативному ТО, у.е./чел. ч	C_{TO}	7.00
9.	Средняя стоимость транспортировки блока на ЗИ для ремонта и обратно, у.е.	C_{TR}	100
10.	Норма дисконта времени, выражаемая в долях единицы или в процентах за год	ε	0,15
13.	Стоимость НАСК-1, у.е.	$C_{НАСК-1}$	300000
14.	Количество различных типов блоков, контролируемых с помощью НАСК-1, шт.	M_0	15
15.	Год ввода НАСК-1 в эксплуатацию	t_0	1

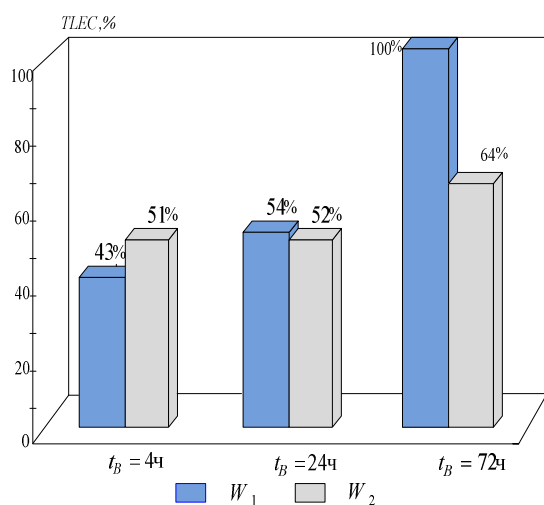


Рис. 1. Диаграмма зависимости $TLEC$ от среднего времени восстановления для двух вариантов организации ТО

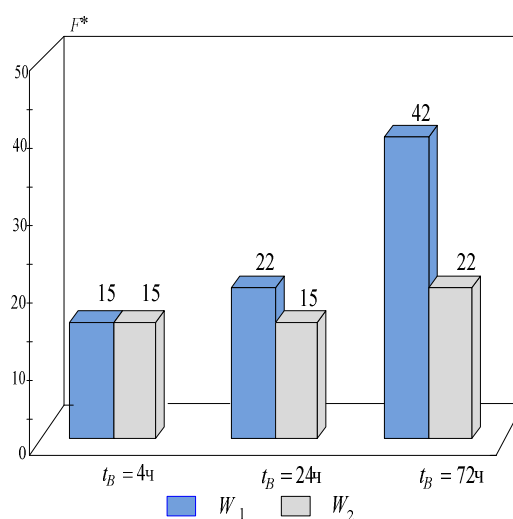


Рис. 2. Диаграмма зависимости количества блоков в ОФ от среднего времени восстановления

Если среднее время восстановления блока составляет 72 ч, то общий объем блоков в обменном фонде для варианта W_1 практически в два раза превышает объем блоков в ОФ для варианта W_2 , это приводит к тому, что более эффективным становится вариант W_2 , поскольку для него полные средние затраты на 36% меньше, чем для варианта W_1 .

Как видно из результатов расчетов, при малом времени восстановления блоков вариант W_2 не эффективен вследствие больших капитальных вложений в НАСК. При среднем времени восстановления, равном 24 ч для обоих вариантов, средние затраты практически одинаковы, несмотря на то, что количество блоков в обменном фонде для варианта W_1 больше (рис. 1).

Как видно из примера, целесообразность использования НАСК для контроля и ремонта определяется не только количеством ВС в обслуживаемом парке, но и рядом технических и экономических параметров. Существенную роль при этом играют точностные характеристики средств бортового контроля и квалификация обслуживаемого персонала, поскольку этим определяется поток блоков, которые досрочно демонтируются с борта.

Выводы. Таким образом, автором предложены обобщенные стоимостные показатели в виде полных средних эксплуатационных затрат для различных стратегий организации ТО транспортных систем связи и навигации, позволяющие, в отличие от известных показателей, учесть достоверность контроля, периодичность контроля, затраты на поддержание обменного фонда блоков. Это позволяет произвести обоснование и выбор оптимальной стратегии ТО, выполнить технико-экономическое обоснование эффективности внедрения НАСК и оптимизировать состав обменного фонда запасных блоков. На конкретном примере показаны условия, при которых стратегия ТО с использованием дорогостоящей НАСК становится эффективной. Данные результаты полезны в процессе проектирования и эксплуатации транспортных систем. Дальнейшим развитием данной работы является обоснование структурного построения НАСК с целью снижения эксплуатационных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burchell B. Untangling no fault found / B. Burchell // Aviation Week. – 2007. – Feb.9. – P. 3-9.
2. Далецкий С.В. Проектирование системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации / С.В. Далецкий. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 285 с.
3. Gertsbakh I. Reliability theory with applications to preventive maintenance / I. Gertsbakh. – N.Y.: Springer Verlag. – 2000. – 219 p.
4. Мачалин И. А. Математические модели стратегий технического обслуживания современной авионики / И. А. Мачалин // Математичні машини і системи. – 2005. – №2. – С. 130–139.
5. Уланский В. В. Математическая модель процесса эксплуатации легкозаменяемых блоков систем авионики / В. В. Уланский, И. А. Мачалин // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2006. – № 6(32). – С. 74–80.
6. Уланский В. В. Организация системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронного комплекса Ту–204: Учебное пособие. / В. В. Уланский, Г. Ф. Конахович, И. А. Мачалин – К.: КИИГА, 1992. – 103 с.

Machalin I.O.

STRATEGIES OF MAINTENANCE OF TRANSPORT NAVIGATION AND COMMUNICATIONS OF SYSTEMS

A method of optimization for different variants of strategies of maintenance of transport navigation and communication systems using ground automatic test equipment was proposed. Conditions for the effectiveness of the implementation of each strategy were demonstrated.

Keywords: maintenance, performance monitoring, automatic test equipment, expected costs.

Мачалін І.О.

СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано методичку оптимізації різних варіантів стратегій технічного обслуговування транспортних систем навігації та зв'язку з використанням наземних автоматизованих засобів контролю. Показані умови ефективності впровадження кожної із стратегій.

Ключові слова: *технічне обслуговування, контроль працездатності, автоматизована система контролю, експлуатаційні витрати.*

УДК 621.73.06-52

Родичев Ю.М., Шабетя А.А., Горалик Е.Т.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ ПО КРИТЕРИЯМ ПРОЧНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

В статье показано, что технологические поверхностные дефекты, сформированные при обработке стекла, являются причиной мультимодального характера кривых распределения прочности по Вейбуллу. С учетом влияния механической обработки на дефектность поверхности стекла изучено статистическое распределение значений предела прочности при изгибе. Были изучены форма и размеры критических микротрещин – источников разрушения. Показано, что статистические характеристики конструкционной прочности стекла могут быть оптимизированы за счет контроля поверхностных дефектов и условий их формирования при производстве несущих конструкций на основе результатов прочности.

Ключевые слова: *стекло, поверхностные дефекты, статистическое распределение, прочность.*

Известно, что преимущественное влияние на прочность и долговечность конструкций из стекла оказывают поверхностные дефекты [1-3]. Нестабильность формы и глубины критических дефектов определяется несовершенством технологических процессов механической обработки стекла и отсутствием надлежащих методов контроля при производстве транспортно-остекления. В результате этого показатели прочности и долговечности конструктивных элементов из стекла характеризуются большим разбросом и сложными кривыми статистического распределения.

Целью настоящего исследования является анализ статистических характеристик распределения результатов испытаний на изгиб листового флоат стекла и создание на его основе подхода к совершенствованию технологии обработки элементов из стекла по критериям прочности и трещиностойкости.

При исследовании прочности листового флоат стекла нами было показано, что неопределенность уровня прочности конструктивных элементов типа балок, пластин, работающих в условиях изгиба, является следствием неконтролируемых на производстве микроскопических поверхностных трещин и дефектов. Неоднородность форм и глубины микротрещин приводит к значительному разбросу результатов механических испытаний и систематическому отклонению экспериментальных кривых распределения от моно-линейного распреде-