

А. В. Андронов, канд. техн. наук, вед. инженер, andronov.plk@mail.ru,
Г. П. Шибанов, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., gpshibanov@mail.ru,
Государственный летно-испытательный центр им. В. П. Чкалова, Ахтубинск

Современная технология научного выбора наиболее перспективного образца техники из ряда образцов аналогичного назначения

Рассмотрено применение технологии сравнительной количественной оценки объектов техники на примере средних (оперативно-тактических) самолетов военно-транспортной авиации. Используется минимаксный подход к оптимизации критериев оценки.
Ключевые слова: современная технология, оценка, оптимизация, критерии, образец, летательный аппарат

Применение технологии научного выбора наиболее перспективного образца техники из ряда образцов аналогичного назначения рассмотрим на примере сравнения конкретных образцов летательных аппаратов, которые находятся на снабжении как российской военно-транспортной авиации (ВТА), так и ВТА других стран. К образцам такого типа также можно отнести и те военно-транспортные самолеты, которые находятся на этапе опытного строительства и показали свои возможности по назначению в процессе проводимых летных испытаний. Рациональность такой апробации определяется тем, что летательные аппараты ВТА являются весьма дорогостоящей техникой и относятся к наиболее сложным объектам оценки перспективности их дальнейшего применения по назначению. Это подтверждает тот факт, что лица, принимающие решения (ЛПР), без опоры на современные технологии научного анализа могут допускать серьезные ошибки при оценке конкретного образца техники, приводящие к колоссальным материальным потерям и снижающие обороноспособность страны. Примером этому может служить затянувшаяся почти на 15 лет история с принятием на снабжение ВТА среднего оперативно-тактического самолета "с коротким взлетом и посадкой" Ан-70.

Данный самолет начал разрабатываться еще в 80-х годах прошлого столетия. Его первый взлет состоялся в декабре 1994 года. Самолет Ан-70 вобрал в себя столько новых конструкторских, инженерных и научно-технических идей и решений, что спустя 20 лет по своим летно-техническим и эксплуатаци-

онным характеристикам, показанным в летных испытаниях, остается лучшим в мире военно-транспортным самолетом в своем классе. В том числе превосходит он и взлелевший почти 15 лет спустя свой западный аналог А.400М.

Данное заключение можно проиллюстрировать, опираясь на решение задачи обоснования развития вооружений [1], которое основывается на многокритериальном выборе и упорядочении объектов методом аддитивного взвешивания [2].

В рассматриваемом случае задача формулируется следующим образом: имеется множество летательных аппаратов, каждый из которых необходимо оценивать совокупностью критериев (показателей) (табл. 1).

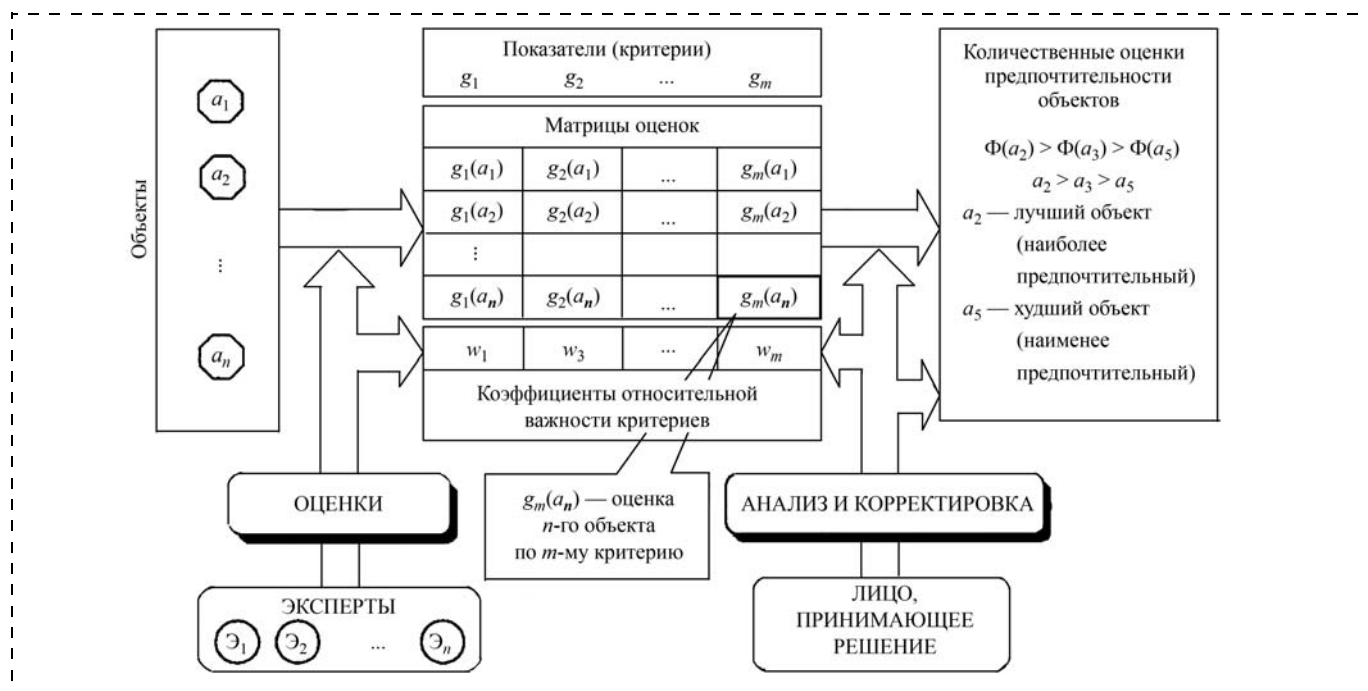
Как видно из табл. 1, в качестве критериев оценки экспертами выбраны: крейсерская скорость полета ($V_{пол}$, км/ч), максимальная дальность полета ($D_{пол}$, км), скорость захода на посадку ($V_{зп}$, км/ч), объем грузовой кабины ($W_{гр.каб}$, м³), максимальная грузоподъемность ($G_{гр.мах}$, т), максимальный взлетный вес ($G_{взл.мах}$, т), цена самолета (C , млн долларов), класс аэродрома (тип взлетно-посадочной полосы: грунт, бетон, длина).

ЛПР, опираясь на оценки этих объектов и его представления об относительной важности критериев, необходимо выбрать наилучший объект (задача выбора) или все рассматриваемые объекты расположить в определенной последовательности — от лучшего к худшему (задача упорядочения) [3] в соответствии с алгоритмом, схематично представленным на рисунке.

Оцениваемые самолеты и выбранные критерии

Таблица 1

Тип самолета	$V_{пол}$, км/ч	$D_{пол}$, км	$V_{зп}$, км/ч	$W_{гр.каб}$, м ³	$G_{гр.мах}$, т	$G_{взл.мах}$, т	C , млн долл.	Класс аэродрома
Ан-70	750	6600	170	420	35	135	67	Грунт 800 м
Ан-12	620	3200	260	110	20	61	27	Бетон 2200 м
А.400М	780	6400	220	360	37	141	145	Бетон 1700 м
С-130j	645	5250	240	130	26	79	65	Бетон 2000 м
Желательное направление изменений	↑/+	↑/+	↓/—	↑/+	↑/+	↓/—	↓/—	↓/—
Коэффициенты относительной важности	0,05	0,15	0,2	0,1	0,1	0,05	0,05	0,3



Схематическое представление алгоритма многокритериального выбора лучшего военно-транспортного самолета по заданным критериям

Аналитически данный алгоритм выбора наилучшего объекта и упорядочения объектов заданного множества осуществляется по следующим правилам:

а) выбор

$$a^* = \arg_j \max \{ \Phi_i = \left\{ \sum_{j=1}^m \hat{g}_{ij} w_j \right\}; \quad (1)$$

б) упорядочение

$$\begin{aligned} a_i P a_j, & \text{ если } \Phi_i > \Phi_j, \\ a_i I a_j, & \text{ если } \Phi_i = \Phi_j, \end{aligned}$$

где a^* — наилучший объект; P — бинарное отношение предпочтения, т. е. $a_i P a_j$, если объект a_i предпочтительнее объекта a_j ; I — бинарное отношение неразличимости, т. е. $a_i I a_j$, если объект a_i неразличим по предпочтительности с объектом a_j ; Φ_i — обобщенная оценка i -го объекта; w_j — коэффициент относительной важности j -го критерия; g_{ji} — количественная оценка i -го объекта с точки зрения j -го критерия.

Оптимизация и нормирование количественных данных, сведенных в таблицу при реализации алгоритма, приведенного на рис. 1, осуществляется в следующей последовательности:

- на основе обработки результатов экспертного опроса определяются коэффициенты относительной важности выбранных критериев оценки;
- осуществляется приведение взлетного веса $G_{взл}$ и цены C к максимальной массе перевозимого груза;
- для одной группы критериев ($V_{пол}$, $D_{пол}$, $W_{гр.каб}$, $G_{гр}$) оценки максимизируем, а для другой

($V_{зп}$, $G_{взл}$, C , "Класс аэродрома") минимизируем по следующим правилам:

$$\hat{g}_{ji} = \begin{cases} \frac{g_{ji} - g_{j\min}}{g_{j\max} - g_{j\min}}, \\ \frac{g_{j\max} - g_{ji}}{g_{j\max} - g_{j\min}} \end{cases}, \quad (2)$$

где $g_{j\min} = \min\{g_{ji}\}$, $g_{j\max} = \max\{g_{ji}\}$, $j = \overline{1, m}$.

Полученные при нормировании данные используем для вычисления обобщенных минимаксных оценок Φ для каждого из рассматриваемых нами объектов (летательных аппаратов).

Все выбранные для сравнения летательные аппараты являются военно-транспортными самолетами (ВТС) среднего класса, наиболее известными в авиационном мире в последние десятилетия.

Решив задачу многокритериального упорядочения, мы получим и решение задачи выбора. Оценки коэффициентов относительной важности критериев, желательное направление изменений выбранных критериев и некоторые оценки объектов по ряду критериев при необходимости могут определяться группой экспертов, сформированной в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [4]. Наиболее надежным и широко используемым методом решения задачи определения коэффициентов относительной важности критериев является метод собственных значений Т. Саати [5].

При использовании этого метода [5] на первом этапе ЛПР осуществляются парные сравнения оцениваемых критериев, так как именно парные срав-

нения — это наиболее удобная для человека форма выражения своих предпочтений.

Выбранный многокритериальный метод аддитивного взвешивания предполагает использование количественных значений оцениваемых критериев в абсолютных величинах, поэтому исходная матрица в соответствии с табл. 1 будет иметь следующий вид:

750	6600	170	420	35	135	67	800
620	3200	260	110	20	61	27	2200
780	6400	230	360	37	141	145	1700
645	5250	240	130	26	79	65	2000

Прежде чем приступить к процессу оптимизации исходной матрицы, определяем коэффициенты относительной важности выбранных нами критериев, выделяя в весовом отношении основные летно-технические характеристики рассматриваемых летательных аппаратов, прежде всего, как военно-транспортных самолетов. Это такие характеристики, как потребные для эксплуатации размеры взлетно-посадочной полосы (ВПП), масса перевозимого груза, скорость захода на посадку и другие. Полученные коэффициенты относительной важности вносятся в ту же табл. 1. Кроме того, учитывая, что рассматриваемые самолеты значительно различаются по максимальной взлетной массе и стоимости, для повышения достоверности получаемых результатов выполняется приведение этих характеристик к максимальным массам перевозимых ими грузов. После данной операции матрица примет следующий вид:

750	6600	170	420	35	3,857	1,914	800
620	3200	260	110	20	3,050	1,350	2200
780	6400	220	360	37	3,810	3,918	1700
645	5250	240	130	26	3,038	2,500	2000

Процесс нормирования полученной матрицы проводим с учетом информации о желательном изменении оценок по каждому из критериев. Поэтому для одной группы критериев ($V_{пол}$, $D_{пол}$, $W_{гр.каб}$, $G_{гр}$) оценки максимизируем, а для другой ($V_{зп}$, $G_{взл}$, C , "Класс аэродрома") — минимизируем в соответствии с выражением (2). Применив коэффициенты относительной важности критериев, получим

0,0406	0,1500	0,2000	0,1000	0,0882	0,0000	0,0390	0,3000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0492	0,0500	0,0000
0,0500	0,1412	0,0888	0,0806	0,1000	0,0287	0,0000	0,1071
0,0078	0,0904	0,0444	0,0064	0,0353	0,0500	0,0276	0,0428

В соответствии с выражением (1) рассчитываем обобщенные минимаксные оценки Φ для каждого из оцениваемых нами ВТС: Ан-70 — $\Phi = 0,9178$; Ан-12 — $\Phi = 0,0905$; А.400М — $\Phi = 0,5092$; С-130j — $\Phi = 0,2958$.

Таким образом, интегральная оценка выбранных критериев показывает значительный приоритет самолета Ан-70. Указанное преимущество было достигнуто за счет использования новейших технологий

и технических решений, воплощенных при разработке и создании самолета Ан-70 и не потерявших свою актуальность до настоящего времени. Так, в конструкции самолета широко применяются композиционные материалы, из них изготовлены предкрылки, закрылки, элероны, интерцепторы, киль и стабилизатор, различные зализы и обтекатели. Система управления самолетом выполнена по современной электродистанционной схеме (ЭДСУ) по всем каналам управления самолетом. Все бортовое радиоэлектронное оборудование объединено в цифровой интегральный комплекс с мультимплексной системой обмена информацией. Это обеспечивает непрерывный внутренний контроль за оборудованием и системами самолета [6]. Летно-технические характеристики, определенные в испытаниях, подтверждают уникальные несущие способности крыла: достигнут коэффициент подъемной силы, равный 7,2; на режиме торможения в горизонтальном полете достигнут максимальный угол атаки, равный 30°. Режим сваливания сопровождается опусканием носа самолета без тенденции к кренению, что является существенным вкладом в оценку высокой эксплуатационной безопасности летательного аппарата, и что, в свою очередь, стало возможным благодаря успешной реализации системного подхода при решении задачи получения взлетно-посадочных характеристик самолета, обеспечивающих короткий взлет и посадку. В системе "крыло — винтомоторная группа" удалось ожидаемо получить расчетное напорное и безотрывное обтекание верхней поверхности и механизации крыла, выпускаемой до 60°, а также отклоняемый вверх вектор части тяги двигателей за счет поворота воздушного потока по нижней поверхности крыла. Соосные винты двигателей создают высоконапорную струю воздуха, обтекающую крыло со скоростью, превышающей скорость набегающего потока. Это приводит к увеличению подъемной силы крыла, а выпущенные закрылки (на 60° в посадочном положении) создают эффект поворота вектора тяги. Таким образом, при заходе на посадку с полностью выпущенными закрылками большая часть подъемной силы на крыле возникает за счет силовой обдувки, а меньшая — за счет набегающего потока.

Такими же уникальными оказались характеристики самого двигателя Д-27 с винтами СВ-27, разработанными специально для самолета Ан-70, не имеющими аналогов в мировом двигателестроении и обеспечивающими крылу самолета столь благоприятные условия "работы". За счет очень высокой степени сжатия воздуха в восьмиступенчатом компрессоре двигателя ($\pi_k = 30$) достигаются высокие показатели топливной эффективности, а высокофорсированная камера сгорания при этом обеспечивает выброс вредных веществ существенно ниже нормируемых значений [7]. В конечном итоге была решена задача получения взлетно-посадочных характеристик, обеспечивающих самолету с грузом до 35 тонн режим "короткого взлета и посадки", т. е.

Таблица 2

**Десантно-транспортные характеристики средних
(оперативно-тактических) военно-транспортных самолетов**

Тип ВТС	Размеры грузового люка				Взлет- ная масса, т	Масса груза, т
	Длина, м	Шири- на, м	Высота, м	Объем, м		
Ан-70	22,40	4,0	4,10	420	135,0	47
Ан-12	13,50	3,10	2,60	110	61,0	20
Ил-76	24,50	3,40	3,46	290	190,0	48
С-130j	12,19	3,12	2,74	130	79,4	26

возможность эксплуатации со взлетно-посадочных полос длиной 800...900 м. При этом, что особенно важно, самолет Ан-70 имеет возможность эксплуатироваться и на грунтовых ВПП, и на полосах с бетонным покрытием.

При рассмотрении десантно-транспортных характеристик очевидна прямая их связь с размерами грузовой кабины и грузоподъемностью самолета [8]. В этом компоненте Ан-70 также шагнул далеко вперед в отношении своих и зарубежных предшественников (табл. 2).

Самолет Ан-70 способен в отличие от остальных самолетов своего класса при посадочном варианте транспортировать практически всю (98 %) номенклатуру вооружения и военной техники, имеющуюся в распоряжении мотострелковых и воздушно-десантных войск и подлежащую мобильному перебазированию. При воздушном же десантировании Ан-70 обеспечивает возможность одновременного раздельного десантирования техники и боевых расчетов, что не позволяют делать ни Ан-12, ни Ил-76, ни их модификации. Возможность массового десантирования боевых расчетов внутри десантируемой боевой техники мы не рассматриваем ввиду ограничений, накладываемых на этот способ рельефом подстилающей земной поверхности площадок десантирования и повышенной опасности применения этого способа для личного состава.

Важность возможности одновременного десантирования с одного самолета людей и боевой техники можно проиллюстрировать на простом сравнительном примере выполнения некой оперативной или тактической задачи силами двух самолетов Ил-76МД и двух самолетов Ан-70. В первом случае боевая техника и боевые расчеты размещены на разных самолетах, и в случае поражения средствами ПВО противника любого из них происходит срыв выполнения боевой задачи. Во втором случае при размещении боевой техники и личного состава на каждом из двух самолетов поражение любого из них ведет лишь к снижению эффективности выполнения боевой задачи.

Принятая в ВВС классификация ВТС по максимальной взлетной массе разделяет их на тяжелые, средние и легкие. В то же время существует и градация ВТС, продиктованная тактикой применения

средств обеспечения войсковых операций, как средств стратегического, оперативного и тактического характера. Такая градация, не подменяя основной классификации, позволяет более глубоко понимать суть боевых возможностей того или иного транспортного средства и в то же время устраняет путаницу в анализах достоинств и недостатков сравниваемых образцов авиационной техники и их боевой эффективности, проводимых разного рода авиаспециалистами. Например, попадание самолета низшего класса по массе по своим отдельным боевым возможностям в более высокий класс будет восприниматься как достоинство, а не как недостаток. Таким образом, и для разработчиков, и для структур, эксплуатирующих авиационную технику ВТА, понятия "стратегический", "оперативный", "оперативно-тактический" и "тактический военно-транспортный самолет" являются более удобными и информативными.

Таким образом, можно утверждать, что летно-технические, десантно-транспортные и эксплуатационные возможности Ан-70 как самолета нового поколения обеспечивают ему лидирующие позиции среди авиационных комплексов оперативно-тактического назначения как в России, так и за рубежом. Само понятие "самолет нового поколения" несет в себе смысл значительной научно-технической и технологической новизны, реализованной в этом изделии, а значит, перспектив научно-технического и технологического прогресса. Применительно к авиационной отрасли как наиболее наукоемкой и глубоко интегрированной с большинством отраслей народного хозяйства страны это означает их дальнейшее развитие, рост и совершенствование.

Сделанный вывод по сравнительной оценке самолета Ан-70 практически соответствует заключению американских и западноевропейских авиационных специалистов, сделанному в 1999 г. по результатам сравнительного тендера со своими аналогичными разработками. Тем не менее, несмотря на очевидную необходимость скорейшего внедрения в серийную эксплуатацию столь перспективного проекта, все последующие события стали происходить с точностью до наоборот. Словно рука невидимого дирижера стала управлять голосами лиц, ответственных за работы по этому самолету, утопивших в потоке порой надуманных причин и обоснований практически все решения по оснащению ВВС Российской Федерации этими перспективными транспортниками. Завершающие работы, предшествующие началу серийного производства данного самолета для военно-транспортной авиации Военно-воздушных сил Российской Федерации, объемом и продолжительностью на 6...8 месяцев не проведенные по сей день, растянувшись более чем на 13 лет.

Список литературы

1. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. М: Логос, 2002. 301 с.

2. **Андронов А. В.** Научное обоснование путей развития оперативно-тактических самолетов военно-транспортной авиации // Сб. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. "XI Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского". 2014. С. 64—69.
3. **Буренок В. М., Ляпунов В. М., Мудров В. И.** Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М.: Вооружение, политика, конверсия, 2005. С. 206—224.
4. **Шибанов Г. П.** Порядок формирования экспертных групп и проведения коллективной экспертизы // Информационные технологии. 2003. № 12. С. 19—22.

5. **Саати Т. Л.** Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.
6. **Техническое** описание и эксплуатация систем самолета Ан-70. Киев: Изд. АНТК им. О. К. Антонова, 1997. 423 с.
7. **Техническое** описание двигателя Д-27 с винто-вентилятором С-27. Запорожье: Изд. ЗМКБ "Прогресс" им. А. Г. Ивченко. 83 с.
8. **Якубович Н. В.** Все самолеты О. К. Антонова. М.: АСТ "Астрель", 2001. 192 с.

Modern Technology for a Scientific Selection of the Most Promising Samples of Technology out of a Number of Analogs

A. V. Andronov, andronov.plk@mail.ru, **G. P. Shibanov**, gpshibanov@mail.ru,
Government Test-flight Center named after V. P. Chkalov, Akhtubinsk, Russian Federation

Received on December 18, 2014

The authors propose a technology for a quantitative valuation of technology specimens on the example of a middle military-transport plane. The technology employs a min-max optimization criterion of valuation. The scientific selection of the best specimen for its designated purpose was proved in practice. An estimate can be correct, only if a sample is large enough. There is a discrepancy between a theory and an experiment. A multiple-criterion scientific choice is the only possible way. An adoption of the right solution or sound decision without a scientific foundation is impossible, because it can lead to unfortunate results. A vivid example is the decision of the high military command of the air force on closing of all works on An-70 plane. This mistake resulted in huge waste of time, money and control over the air industry. Algorithm of the suggested technology leads to perfection. This algorithm alongside with the use of the multiple-criterion method allows us to prove scientifically that An-70 plane is the best among the middle planes of the military-transport aviation. For the first time the algorithm of multiple-criterion valuation introduced into practice the maximum and minimum ways for optimization of the criterions. The maximal optimization is ensured by one group of criterions, and the minimal optimization is ensured by another group of criterions. Applied to the planes of the military-transport aviation this method allows us to select the best plane-model with account of its take-off weight and cost in relation to the maximum-mass of a payload. The suggested algorithm of the quantitative valuation and selection of the most rational of the specimen can be used conformably to any kind of equipment.

Keywords: modern technology, valuation, optimization, criterions, specimen, flying machine

For citation:

Andronov A. V., Shibanov G. P. Modern Technology for a Scientific Selection of the Most Promising Samples of Technology out of a Number of Analogs, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 245—249.

DOI: 10.17587/mau.16.245-249

References

1. **Larichev O. I.** Teoriya i metody prinyatiya reshenii (Theory and methods of decision-making), Moscow, Logos, 2002, 301 p. (in Russian).
2. **Andronov A. V.** Nauchnoe obosnovanie putei razvitiya operativno-takticheskikh samoletov voenno-transportnoi aviatsii (Scientific basis of tactical and operational plane development progress approaches in military transportation aircraft), *Proceedings of Russian conference for science and technology "XI scientific reading for aviation dedicated to remembrance of N. E. Zhukovsky"*, 2014, pp. 64—69 (in Russian).
3. **Burenok V. M., Lyapunov V. M., Mudrov V. I.** Teoriya i praktika planirovaniya i upravleniya razvitiem vooruzheniya (Theory and practice in planning and managing armament development progress),

Moscow, Vooruzhenie, politika, konversiya, 2005, pp. 206—224 (in Russian).

4. **Shibanov G. P.** Poryadok formirovaniya ekspertnykh grupp i provedeniya kollektivnoi ekspertizy (The process of expert commission set up and group examination), *Informatsionnye Tekhnologii*, 2003, no 12, pp. 19—22 (in Russian).

5. **Saati T. L.** Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii (Decision making. Analytic hierarchy process), Moscow, Radio i svyaz', 1989, 316 p. (in Russian).

6. **Tekhnicheskoe** opisanie i ekspluatatsiya sistem samoleta An-70 (Technical specification and maintenance of An-70 airplane systems), Kiev, published by ANTK im. O. K. Antonova, 1997, 423 p. (in Russian).

7. **Tekhnicheskoe** opisanie dvigatelya D-27 s vinto-ventilyatorom S-27. (Technical specification of D-27 engine with S-27 prop-fan, Zaporozhye), Zaporozh'e, published by ZMKB "Progress" im. A. G. Ivchenko, 83 p. (in Russian).

8. **Yakubovich N. V.** Vse samolety O. K. Antonova (All planes from O. K. Antonov), Moscow, AST "Astrel", 2001, 192 p. (in Russian).

Corresponding author.

Andronov Anatoly V., Master of Science, Chief Engineer, Government flight-test center name Chkalov V. P., Akhtubinsk, Russian Federation, e-mail: andronov.plk@mail.ru