

УДК 629.76.038

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

© 2010 А.В. Кулешов<sup>1</sup>, Н.Г. Прокопчик<sup>1</sup>, А.А. Богомолов<sup>2</sup>, Н.А. Абросимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>4 ЦНИИ МО РФ

<sup>2</sup>Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»-КБТМ

Представлена вербальная и формализованная постановка задачи оценки технического уровня универсальных стартовых комплексов ракет космического назначения с использованием обобщённого показателя, позволяющего проводить сравнительный анализ технического совершенства стартовых комплексов РКН различных классов.

*Стартовый комплекс, технический уровень, ракета космического назначения, программа запусков, космический аппарат*

Одной из важнейших задач, решаемых в ходе опытно-конструкторских работ по созданию изделий ракетно-космической техники (РКТ), является проведение оценки их технического уровня (ТУ). Указанная задача регламентируется действующими нормативными документами, в том числе Положением РК-98, ГОСТ РВ 15.203. При этом оценка ТУ должна выполняться как Заказчиком для анализа соответствия изделий передовым достижениям отечественной и зарубежной науки и техники, так и предприятиями-разработчиками, руководители которых несут личную ответственность за обеспечение требуемого технического уровня разрабатываемых изделий.

Под «техническим уровнем» понимается относительная характеристика свойств изделий, основанная на сопоставлении фактических значений показателей, характеризующих воплощённые в них технические решения, с эталонными.

В СССР в 80-е годы была выполнена комплексная научно-исследовательская работа «Уровень», головными исполнителями которой в большой кооперации различных организаций стали 4 ЦНИИ Минобороны и ЦНИИМаш. В рамках НИР «Уровень» были разработаны методики оценки технического уровня стартовых

комплексов (СК) ракет космического назначения (РКН). Оценке по данным методикам подлежали однотипные СК, технический уровень которых определяла одна и та же номенклатура частных показателей.

Под «частными показателями» понимаются показатели ТУ изделия, относящиеся к одному из его элементарных свойств или к некоторой совокупности этих свойств.

В качестве частных показателей технического уровня СК в НИР «Уровень» рассматривались:

- показатель оперативности подготовки РКН на СК;
- показатель интенсивности проведения пусков РКН со стартового комплекса;
- показатель относительной трудоёмкости подготовки РКН на СК;
- показатель относительной производительности пусковой линии СК;
- показатель технической готовности пусковой линии СК.

Разработанные в НИР «Уровень» показатели технического уровня имели актуальность для периода 60-80 годов когда весьма остро стояла проблема высокой производительности и оперативности запусков космических

аппаратов (КА), в связи с чем, стартовые комплексы изначально проектировались для выполнения конкретной целевой задачи. Обобщённый показатель технического уровня СК представлял собой результат аддитивной свёртки вышеперечисленных частных показателей с использованием нормированных коэффициентов весомости и соответственно не имел ясного физического смысла.

В настоящее время формируются новые подходы к разработке технического облика перспективных стартовых комплексов, способных решать широкую номенклатуру целевых задач. Поэтому, в современных условиях, характеризующихся появлением универсальных стартовых комплексов, обеспечивающих пуски РКН различных классов, а также снижением общего количества пусков РКН за счёт значительного увеличения сроков активного существования КА, имеющийся методический аппарат оценки технического уровня стартовых комплексов требует совершенствования.

В статье [1] авторами предложены показатели технического уровня сложных систем, к каковым относятся и стартовые комплексы, представляющие собой количественную меру, основанную на сопоставлении значений показателей эффективности оцениваемого образца и аналогичного образца, имеющего лучшие значения этих показателей. Таким образом, при расчёте показателей технического уровня стартовых комплексов может учитываться более широкая, чем в методическом аппарате НИР «Уровень», номенклатура показателей их эффективности, включающая следующие группы:

1) показатели тактико-технических характеристик, являющиеся основными показателями свойств СК по выполнению целевых задач;

2) показатели надёжности, характеризующие свойства СК сохранять во времени в установленных пределах значение всех параметров, определяющих способность выполнять

требуемые функции в заданных режимах и условиях: применения, технического обслуживания, ремонта, хранения, транспортирования;

3) показатели безопасности, характеризующие свойства СК обеспечивать безаварийную работу и безопасность обслуживающего персонала;

4) технико-экономические показатели, характеризующие затраты на создание и эксплуатацию СК.

Вместе с тем, для оценки технического уровня СК в целом необходим обобщённый показатель, имеющий ясный физический смысл и связывающий математической зависимостью частные показатели технического уровня СК. Такой обобщённый показатель может основываться на главной целевой задаче СК – проведение подготовки к пуску и пусков РКН для обеспечения программ запусков КА в плановом периоде. В результате предложенный показатель позволит учитывать универсальность СК и проводить сравнительный анализ технического уровня СК РКН различных классов [2].

В связи с этим, в качестве обобщённого показателя технического уровня СК используем относительную долю решаемых СК задач по выполнению программ запусков КА в интересах Минобороны России и социально-экономического, научного и коммерческого назначения в плановом периоде:

$$U_{СК} = M_{СК} / M ,$$

где  $M_{СК}$  - математическое ожидание числа задач по подготовке к пуску и пуску РКН, решаемых СК для выполнения программ запусков КА в плановом периоде;

$M$  - суммарное количество задач по подготовке к пуску и пуску РКН при выполнении программ запусков КА в плановом периоде.

Представим формализованную постановку задачи оценки технического уровня СК.

**Задано:**

$\bar{z}_j \in Z$  - множество задач по поддержанию орбитальной группировки (ОГ) КА  $j$ -го целевого назначения,  $j = \overline{1, \Psi}$ ,

$$\bar{z}_j = \bar{z}(N_{jk}^{KA}, \bar{g}_{jik}^{KA}, t_{jik}),$$

где  $N_{jk}^{KA}$  - количество типов КА в составе ОГ  $j$ -го целевого назначения при реализации  $k$ -ой альтернативы ее поддержания,  $k = \overline{1, K_j}$ ;

$\bar{g}_{jik}^{KA}$  - вектор параметров КА  $i$ -го типа при поддержании ОГ  $j$ -го целевого назначения по  $k$ -ой альтернативе,  $k = \overline{1, K_j}$  (требуемый количественный состав КА, требуемые параметры орбит КА);

$t_{jik}$  - требуемый срок запуска КА  $i$ -го типа при поддержании ОГ КА  $j$ -го целевого назначения по  $k$ -ой альтернативе.

По результатам анализа множества  $Z$  определено множество задач по пускам РКН:

$$\bar{z}_{s_q} = \{ \bar{g}_{s_q l}^{PKH}, N_{s_q}^{PKH}, G_l^{PKH} \},$$

где  $\bar{g}_{s_q l}^{PKH}$  - вектор параметров  $l$ -ой РКН,  $l = \overline{1, N_{s_q}^{PKH}}$ ;

$N_{s_q}^{PKH}$  - количество типов применяемых РКН;

$s_q = s(\bar{z}_j)$  - номер варианта программы пусков РКН для реализации  $k$ -ой альтернативы по поддержанию ОГ КА  $j$ -го целевого назначения,  $q = \overline{1, Q}$ ,  $Q = \prod_j k_j$ ;

$G_l^{PKH}$  - вектор ограничений по пуску  $l$ -ой РКН.

Вектор параметров  $l$ -ой РКН представим в виде:

$$\bar{g}_{s_q l}^{PKH} = \{ \bar{g}_{s_q l}^{PH}, \bar{g}_{s_q l}^{PB}, \bar{g}_{s_q l}^{KA}, t_{s_q l}^{PKH} \},$$

где  $\bar{g}_{s_q l}^{PH}$  - вектор параметров ракеты-носителя (РН);

$\bar{g}_{s_q l}^{PB}$  - вектор параметров разгонного блока (РБ);

$\bar{g}_{s_q l}^{KA}$  - вектор параметров КА;

$t_{s_q l}^{PKH}$  - требуемый срок пуска РКН.

Пусть  $\bar{x} \in X$  - вектор возможных конструктивно-технологических решений, определяющих технический «облик» стартового комплекса (состав, структура, типы, функции, параметры входящих в него систем транспортно-установочного, пускового, заправочного и оборудования термостатирования, автоматизированным системам управления СК).  $X$  - множество допустимых значений вектора  $\bar{x}$ .

Зададим показатели технического совершенства СК в виде вектор-функции от его параметров:

$$\bar{y}(\bar{x}) \in Y,$$

где  $Y = Y_{ТТХ} \times Y_H \times Y_B \times Y_{ТЭП} \times Y_{ЭК}$  - множество показателей технического совершенства СК:

$Y_{ТТХ} = \{ \bar{y}_{ТТХ}(\bar{x}) \}$  - множество допустимых значений вектор-функции  $\bar{y}_{ТТХ}(\bar{x})$ , определяющей тактико-технические характеристики СК (время пуска РКН из готовности №1 РКК (КРК); темп пусков; производительность; длительность содержания РКН в установленных готовностях; продолжительность приведения СК в готовность к проведению единичного пуска РКН различных классов; продолжительность приведения СК в готовность к проведению серии пусков РКН различных классов; количество пусков РКН без проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР); продолжительность проведения РВР; продолжительность содержания РКН на пусковой установке (ПУ) в заправленном состоянии; продолжительность содержания РКН на ПУ не в заправленном состоянии; универсальность применения; уровень автоматизации; уровень механизации);

$Y_H = \{ \bar{y}_H(\bar{x}) \}$  - множество допустимых значений вектор-функции  $\bar{y}_H(\bar{x})$ , определяющей показатели

надежности СК (коэффициент готовности; среднее время восстановления агрегатов и систем; назначенный ресурс; назначенный срок службы);

$Y_B = \{\bar{y}_B(\bar{x})\}$  - множество допустимых значений вектор-функции  $\bar{y}_B(\bar{x})$ , определяющей показатели безопасности СК (вероятность безаварийной работы технологического оборудования, вероятность безотказной работы средств обеспечения безопасности, вероятность локализации (парирования) аварийной ситуации обслуживающим персоналом);

$Y_{TЭП} = \{\bar{y}_{TЭП}(\bar{x})\}$  - множество допустимых значений вектор-функции  $\bar{y}_{TЭП}(\bar{x})$ , определяющей технико-экономические показатели СК (стоимость создания; приведенная стоимость одного цикла работ; стоимость эксплуатации);

$Y_{ЭК} = \{\bar{y}_{ЭК}(\bar{x})\}$  - множество допустимых значений вектор-функции  $\bar{y}_{ЭК}(\bar{x})$ , определяющей экологические показатели СК (уровень загрязнения почвы; уровень загрязнения водных объектов; уровень загрязнения атмосферы).

$\bar{y}^* \in Y^* \subset R^{*M}$  - вектор показателей технического совершенства базовых (идеальных) СК с лучшими характеристиками из достигнутых в мировой практике,

где  $Y^* = Y_{ТХ}^* \times Y_N^* \times Y_B^* \times Y_{TЭП}^* \times Y_{ЭК}^*$  - множество показателей технического совершенства базовых СК, принятых для сравнения.

$G(\bar{z}, \bar{x}) \in G$  - функция ограничений на выполнение задачи  $\bar{z}$  при создании и применении СК с параметрами  $\bar{x}$ ,

где  
 $G = G_D \times G_{Хр.РКН} \times G_{ПУ} \times G_{Кл} \times G_{КРТ} \times G_{An} \times G_{Хр.КРТ}$  × доля  $r - z_0$  СК при реализации  $s_q - z_0$  варианта программы пусков РКН;  
 - множество ограничений на выполнение задач при создании и применении СК;

$G_D$  - ограничения по способам и видам доставки РКН на СК (в горизонтальном или вертикальном

положениях; полностью собранная или в состоянии, когда требуется сборка на СК в вертикальном положении);

$G_{Хр.РКН}$  - наличие пристартового хранилища РКН;

$G_{ПУ}$  - количество ПУ на СК;

$G_{Кл}$  - климатические условия эксплуатации СК;

$G_{КРТ}$  - номенклатура компонентов топлив и сжатых газов заправляемых в РН (РБ) на СК;

$G_{An}$  - наличие или отсутствие аналога, а также то, будет ли он создаваться в единичном или же многократном исполнении;

$G_{Хр.КРТ}$  - ёмкость средств хранения КРТ;

$G_C$  - предельная стоимость создания СК.

### Требуется

1. Установить связь показателей технического совершенства СК и его параметров, в рамках заданной системы ограничений и допущений

$$\bar{y} = \bar{y}(\bar{x}).$$

2. Определить зависимость технического уровня СК от показателей его технического совершенства

$$U_{СК} = U(\bar{y}(\bar{x}), \bar{y}^*).$$

Под техническим уровнем  $r - z_0$  СК будем понимать нормированную величину, равную отношению максимально возможного коэффициента задействия  $r - z_0$  СК при реализации варианта программы пусков РКН к коэффициенту задействия базового СК:

$$U_{СК_r} = \frac{\max \Delta^{СК_r}}{\Delta^{СК^*}}.$$

Коэффициент задействия есть вариант программы пусков РКН:

$$\Delta_{s_q}^{CK_r} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{CK_r}} m_i^{PKH}}{N_{s_q}^{PKH}},$$

где  $m_i^{PKH}$  - коэффициент технической сложности пуска при пуске  $i$ -ой РКН, проводимой с  $r$ -го СК в плановом периоде;

$m_j^{PKH}$  - коэффициент технической сложности пуска при пуске  $j$ -ой РКН, проводимой по  $s_q$ -му варианту программы пусков РКН, определяется исходя из типа РКН, наличия РБ, требований к оперативности пусков и других требований, предъявляемых со стороны КА;

$M_{CK_r}$  - математическое ожидание числа задач по подготовке к пуску и пуску РКН, решаемых  $r$ -ым СК при выполнении программы пусков РКН в плановом периоде.

$$M_{CK_r,t} = \begin{cases} \frac{\sum_i^{N_{s_q}^{PKH}} t_{CK_r,i}^u P_{CK_r,i} G_{CK_r,i}}{T_{CK_r}} N_{CK_r} & \text{при } \frac{\sum_i^{N_{s_q}^{PKH}} t_{CK_r,i}^u P_{CK_r,i} G_{CK_r,i}}{T_{CK_r}} < 1, \\ N_{CK_r} & \text{при } \frac{\sum_i^{N_{s_q}^{PKH}} t_{CK_r,i}^u P_{CK_r,i} G_{CK_r,i}}{T_{CK_r}} \geq 1 \end{cases}$$

где  $t_{CK_r,i}^u$  - продолжительность цикла работ на  $r$ -ом СК при подготовке к пуску и пуску  $i$ -ой РКН;

$P_{CK_r,i}$  - вероятность подготовки к пуску и пуску  $i$ -ой РКН, проводимых с  $r$ -го СК;

$G_{CK_r,i}$  - функция ограничений на подготовку к пуску и пуску  $i$ -ой РКН, проводимых с  $r$ -го СК;

$T_{CK_r}$  - ежегодный фонд рабочего времени  $r$ -го СК с учётом возникновения отказов и времени ежегодного технического обслуживания;

$N_{CK_r}$  - производительность  $r$ -го СК.

Математическое ожидание числа задач по подготовке к пуску и пуску РКН, решаемых  $r$ -ым СК в плановом периоде представим в виде:

$$M_{CK_r} = \sum_{t=1}^{T_{пл}} M_{CK_r,t},$$

где  $M_{CK_r,t}$  - математическое ожидание числа задач по подготовке к пуску и пуску РКН, решаемых  $r$ -ым СК за один год;

$T_{пл}$  - количество лет в плановом периоде.

Математическое ожидание числа задач по подготовке к пуску и пуску РКН, решаемых  $r$ -ым СК за один год определяется выражением:

Представленный обобщённый показатель технического уровня СК зависит от всех групп частных показателей, характеризующих эффективность СК. Технико-экономические показатели учитываются в функции ограничений.

### Библиографический список

1. Дворкин В.З., Шишкин Ю.Н. Методические основы анализа уровня технического совершенства сложных систем военного и гражданского назначения. Журнал «Стратегическая стабильность» №4. СИП РИА, 2002г.
2. Кулешов А.В. Обобщенный показатель технического уровня

стартовых комплексов ракет космического назначения. Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники и ее роль в устойчивом социально-экономическом развитии общества»; под общ. ред. А.Н. Кирилина / СамНЦ РАН – Самара 2009. – 267 с.

complex military and civil systems. *Strategical stability Journal*#4 SIP PIA, 2002.

2. KULESHOV A.V. Overall index of engineering level of Launch Facilities. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference on Pressing problems of space-rocket technology and its role in stable development of society*; editor KIRILIN A.N. / Samara RAS Research Center – Samara, 2009. – 267p.

### References

1. DVORKIN V.Z., SHISHKIN Yu.N. Procedure of technical perfection analysis of

## TECHNICAL APPROACH FOR ESTIMATION OF ENGINEERING LEVEL OF UNIVERSAL LAUNCH COMPLEXES FOR SPACE LAUNCH VEHICLES WITH USE OF OVERALL PARAMETER

© 2010 A.V. Kuleshov<sup>1</sup>, N.G. Prokopchik<sup>1</sup>, A.A. Bogomolov<sup>2</sup>, N.A. Abrosimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>4 TSNII the Russian Federation

<sup>2</sup>Affiliate FSUE «TsENKI»-DBTM

The verbal and formalized statement of problem of estimation of engineering level of Universal Launch Complexes of Space Launch Vehicle with use of the overall parameter is presented. This parameter allows performing the comparative analysis of technical perfection of SLV Launch Complexes of various classes.

*Launch Complex, engineering level, Space Launch Vehicle, Launch Program, Space Craft*

### Информация об авторах

**Кулешов Андрей Валерьевич**, начальник лаборатории 4 ЦНИИ МО РФ, e-mail: [avkuleshov@inbox.ru](mailto:avkuleshov@inbox.ru). Область научных интересов: военно-научное сопровождение создания стартовых и технических комплексов РКН, системы информационной поддержки принятия решений при проведении опытно-конструкторских работ по созданию космических средств.

**Прокопчик Николай Григорьевич**, старший научный сотрудник 4 ЦНИИ МО РФ, e-mail: [ngprokopchik@mail.ru](mailto:ngprokopchik@mail.ru). Область научных интересов: военно-научное сопровождение создания стартовых и технических комплексов РКН, системы информационной поддержки принятия решений при проведении опытно-конструкторских работ по созданию космических средств.

**Абросимов Николай Анатольевич**, кандидат технических наук, главный конструктор программы филиала ФГУП «ЦЭНКИ»-КБТМ, e-mail: [abrnickolay@mail.ru](mailto:abrnickolay@mail.ru). Область научных интересов: разработка стартовых и технических комплексов РКН различного класса, оптимизация состава и функционального назначения объектов наземной космической инфраструктуры.

**Богомолов Алексей Александрович**, кандидат технических наук, профессор, главный конструктор филиала ФГУП «ЦЭНКИ» - КБТМ, e-mail: [mail@fgupkbtm.ru](mailto:mail@fgupkbtm.ru). Область научных интересов: разработка стартовых и технических комплексов РКН различного класса, оптимизация состава и функционального назначения объектов наземной космической инфраструктуры.

**Kuleshov Andrey Valerevich**, the chief of laboratory of 4 TSNII the Russian Federation, e-mail: [avkuleshov@inbox.ru](mailto:avkuleshov@inbox.ru). Area of research: military-scientific support of creation of SLV launch and technical complexes, systems of information support of decision-making at carrying out of developmental works on creation of space systems.

**Prokopchik Nikolay Grigorevich**, the senior scientific employee of 4 TSNII the Russian Federation, e-mail: [ngprokopchik@mail.ru](mailto:ngprokopchik@mail.ru). Area of research: military-scientific support of creation of SLV launch and technical complexes, systems of information support of decision-making at carrying out of developmental works on creation of space systems.

**Abrosimov Nikolay Anatolevich**, Candidate of Science, Program Design Manager of division FSUE «TsENKI»-DBTM, e-mail: [abrnickolay@mail.ru](mailto:abrnickolay@mail.ru). Area of research: development of SLV launch and technical complexes of a various class, optimization of structure and functional purpose of objects of ground space infrastructure.

**Bogomolov Alexey Aleksandrovich**, Candidate of Science, professor, General Designer, of division FSUE «TsENKI»-DBTM, e-mail: [mail@fgupkbtm.ru](mailto:mail@fgupkbtm.ru). Area of research: development of SLV launch and technical complexes of a various class, optimization of structure and functional purpose of objects of ground space infrastructure.