

В.В. Шмелев, кандидат технических наук  
Е.В. Копкин, доктор технических наук  
Е.Б. Самойлов, кандидат технических наук

## **Порядок формирования требований к качеству обработки измерительной информации ракетно-космической техники**

*В статье предлагаются показатели качества специального программного обеспечения обработки информации, применяемого в ракетно-космической отрасли. В отличие от существующих аналогов и рекомендаций государственных стандартов, все показатели в системе являются количественными, поэтому при их внедрении достигается объективность оценки. Полнота оценки обеспечивается включением в систему эксплуатационных показателей, показателей сопровождения и результативности. Предлагаемая система состоит из 12 показателей, приводится методика их комплексирования.*

### **Введение**

Современный этап функционирования Вооруженных Сил РФ характеризуется высокой степенью автоматизации всех видов повседневной деятельности и вместе с тем ограниченностью их финансирования. Поэтому вопросы оптимизации проектирования и разработки специального программного обеспечения (ПО), решающего отдельные задачи в видах и родах ВС РФ, являются весьма актуальными.

В Космических войсках ВКС очень важную роль играет система информации о техническом состоянии, испытаниях и эксплуатации вооружения и военной техники. Цель функционирования данной системы в соответствии с ГОСТ 1410-002-2010 «Ракетно-космическая техника. Система информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий» заключается в формировании и доведении результатов испытаний и применения космических средств до руководящего состава ВС РФ и заинтересованных организаций промышленности. Одной из задач системы является обработка измерительной (телеметрической) информации ракет-носителей (РН), успешное решение данной задачи однозначно определяется качеством применяемого специального ПО.

Известные работы по оцениванию качества ПО (отечественная – [1], зарубежные – [2-4]) предлагают как качественные, так и количественные подходы к расчету показателей качества, а также способы комплексирования показателей. В указанных работах прослеживается стремление охватить максимально широкую область применения ПО и, вследствие этого, возникают трудности использования предлагаемых показателей для узкоспециализированного (специального) ПО. Кроме того, авторами указанных работ ПО оценивается как самодостаточный продукт, например, оценивается корректность его кода, количество программных ошибок и т. п., а должного внимания результативности применения ПО не уделяется.

С учетом указанных аспектов в статье предлагается система показателей качества ПО для специальной задачи – обработки и анализа телеметрической информации (ТМИ) РН.

### **Частные показатели качества обработки ТМИ**

В качестве основы при составлении показателей использованы рекомендуемые показатели качества ПО, приведенные в «ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обес-

печения» и «ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Модели качества систем и программных продуктов». Однако в указанных документах порядок вычисления показателей строго не регламентируется, а приводится только их примерное содержание. На рисунке 1 в структурированном виде представлены необходимые показатели качества информационного обеспечения рассматриваемой системы информации.

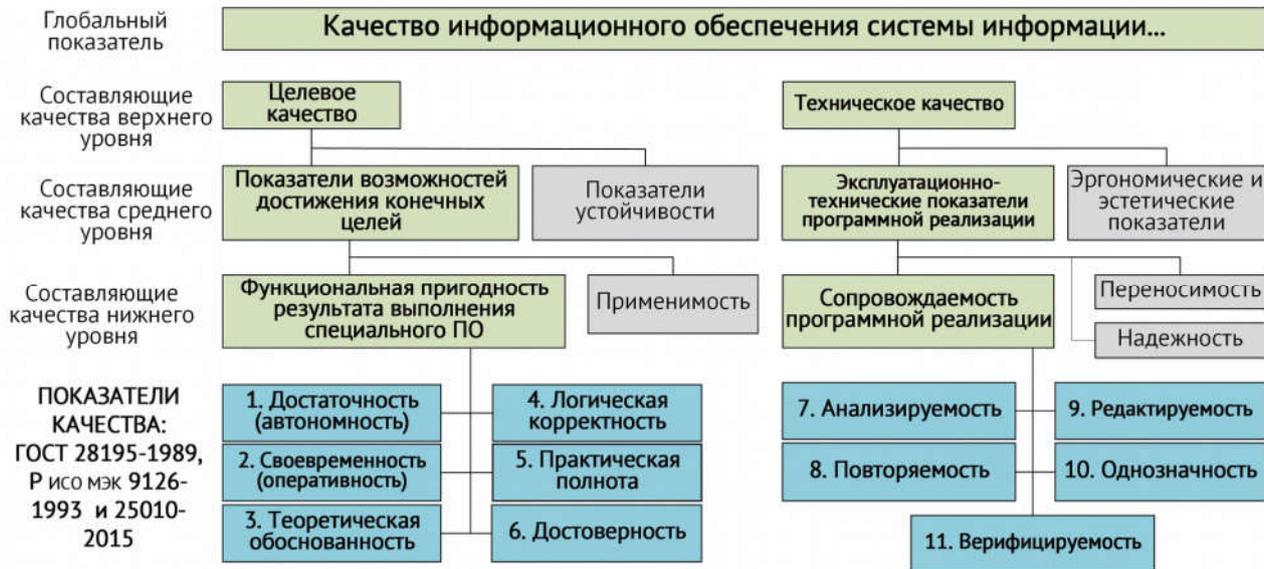


Рисунок 1 – Дерево показателей качества информационного обеспечения системы информации

Зеленым цветом отмечены группы показателей, непосредственно определяющие качество специального ПО. Синим цветом – частные показатели, непосредственно подлежащие интерпретации и формализации, приведенные в ГОСТ, указанных в левой нижней части рисунка 1.

Предлагается следующая система частных показателей  $p_i(l)$ , учитывающая особенности испытаний и применения РН [5], где  $i$  – порядковый номер показателя,  $l$  – номер соответствующего показателя на рисунке 1.

1. Частный показатель  $p_1(6)$  – точность телеметрируемых параметров (ТМП):

$$p_1 = 1 - 3 \sqrt{\sigma_{TM}^2 + \sum_{j=1}^{N_{ТМП}} \sigma^2(x_j)},$$

где:  $x_j, j = \overline{1, N_{ТМП}}$  – ТМП, используемые в ПО обработки ТМИ;

$\delta_{TM} = 0,8\%$  – максимальная приведенная погрешность бортовой аппаратуры с учетом «наземной» автоматизированной обработки ТМП, значение которой приведено в программе телеизмерений, выпускаемой в комплекте технической документации на РН;

$\sigma_{TM} = \frac{\delta_{TM}}{3}$  – среднеквадратичное отклонение (СКО) приведенной погрешности бортовой

аппаратуры с учетом «наземной» автоматизированной обработки ТМП;

$\delta(x_j)$  – максимальная приведенная погрешность измерения  $j$ -го датчика, значение которой приводится в технических характеристиках датчиков<sup>1</sup>, тип датчиков приводится в программе телеизмерений;

$\sigma(x_j) = \frac{\delta(x_j)}{3}$  – СКО приведенной погрешности измерения  $j$ -го датчика.

1 Например, датчик вибрации ABC 059 // <http://npoit.ru/products/item/high/abc-059> (дата обращения 15.05.2017).

Показатель  $p_1$  вычисляется в предположении о статистической независимости погрешности бортовой аппаратуры сбора телеизмерений и погрешности датчиковой аппаратуры. Кроме того, принимается допущение о нормальном распределении погрешности телеизмерений.

2. Частный показатель  $p_2(6)$  – точность оценивания значений летно-технических характеристик (ЛТХ):

$$p_2 = 1 - 3 \sqrt{\sum_{q=1}^{N_{ЛТХ}} \sigma^2(y_q)}, \quad \sigma(y_q) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{ТМП}^{(q)}} \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \sigma(x_i) \right)^2},$$

где  $y_q(x) = f(x_i)$ ,  $q = \overline{1, N_{ЛТХ}}$ ,  $i = \overline{1, N_{ТМП}^{(q)}}$  – ЛТХ, используемая в специальном ПО;

$p_2 = 1 - 3 \sqrt{\sum_{q=1}^{N_{ЛТХ}} \sigma^2(y_q)}$  – СКО приведенной погрешности вычисления  $q$ -й ЛТХ;

$\sigma(x_i)$  – СКО приведенной погрешности измерения  $i$ -го датчика.

В основе порядка вычисления данного показателя лежит метод частных производных [8], также принимается допущение о нормальном распределении погрешности. Показатель  $p_2$  характеризует погрешность оценок ЛТХ, формируемую вычислительными процедурами над телеизмерениями.

3. Частный показатель  $p_3(2)$  – своевременность получения результата обработки:

$$p_3 = e^{\ln 0,8 \cdot \left( \frac{T_{обр}}{T_{мп}} - 1 \right)},$$

где  $T_{обр}$  – длительность обработки;

$T_{мп}$  – требуемая длительность оперативной и экспресс-обработки и анализа ТМИ.

Данный показатель характеризует соответствие временного интервала подготовки исходной информации и применения специального ПО отведенному интервалу оперативной и экспресс-обработки и анализа ТМИ.

4. Частный показатель  $p_4(2)$  – оперативность получения результата обработки:

$$p_4 = \frac{1}{\left( \frac{1}{0,8} - 1 \right) \frac{T_{обр}}{T_{мп}} + 1}.$$

Остальные показатели вычисляются как отношение используемого количества информации к доступному количеству.

5. Частный показатель  $p_5(1)$  – полнота обрабатываемой ТМИ (характеризует степень использования доступной измерительной информации в специальном ПО обработки ТМИ):

$$p_5 = \frac{N_{ТМП}}{N_{ПТИ}},$$

где  $N_{ТМП}$  – количество ТМП, используемых в специальном ПО;

$N_{ПТИ}$  – количество ТМП, формируемых бортовой измерительной системой согласно программе телеизмерений (ПТИ).

6. Частный показатель  $p_6(5)$  – полнота вычисляемых ЛТХ (определяет соотношение используемых в процессе обработки ЛТХ к общему количеству контролируемых характеристик):

$$p_6 = \frac{N_{ЛТХ}}{N_{ЛТХ}^{ТД}},$$

где  $N_{ЛТХ}$  – количество ЛТХ, оценки которых используются в специальном ПО;

$N_{ЛТХ}^{ТД}$  – количество ЛТХ в соответствии с технической документацией (ТД).

7. Частный показатель  $p_7(4)$  – полнота учитываемых нештатных ситуаций (характеризует глубину учитываемых нештатных ситуаций, предусмотренных в технической документации):

$$p_7 = \frac{N_{АВД}}{N_{АВД}^{ТД}},$$

где  $N_{АВД}$  – количество учитываемых нештатных ситуаций в специальном ПО;

$N_{АВД}^{ТД}$  – количество нештатных ситуаций, приводящих к прекращению подготовки носителя к пуску и к аварийному выключению двигателя (АВД).

8. Частный показатель  $p_8(3)$  – полнота моделируемого технологического процесса обработки ТМИ (характеризует адекватность модели процесса функционирования своему прототипу):

$$p_8 = \frac{N_{МОД}}{N_{ТД}},$$

где  $N_{МОД}$  – количество моделируемых в специальном ПО контролируемых операций процесса функционирования РН;

$N_{ТД}$  – полное количество операций, предусмотренных в технической документации.

9. Частный показатель  $p_9(7)$  – анализируемость синтезированной модели процесса с учетом реализации различных видов ограничений (характеризует способность специального ПО к реализации собственными средствами различных типов ограничений контролируемого процесса, по которому осуществляется обработка ТМИ):

$$p_9 = \frac{N_{ОГР}}{N_{ПОГ}},$$

где  $N_{ОГР}$  – количество ограничений, реализуемых в специальном ПО;

$N_{ПОГ}$  – количество ограничений, потенциально применяемых при обработке ТМИ РН: технические, технологические, временные и ресурсные ограничения.

10. Частный показатель  $p_{10}(11)$  – верифицируемость синтезированной модели процесса (характеризует способность специального ПО к автоматическому поиску ошибок в модели процесса функционирования РН):

$$p_{10} = \frac{N_{ОШ}}{N_{ПО}},$$

где  $N_{ОШ}$  – количество типов ошибок, выявляемых и корректируемых специальным ПО обработки;

$N_{ПО}$  – количество типов ошибок, потенциально формируемых при синтезе модели контролируемого процесса функционирования РН.

11. Частный показатель  $p_{11}(8,10)$  – однозначность результата обработки при неизменности измерительной информации (характеризует степень влияния на результат обработки не учитываемой в специальном ПО измерительной информации):

$$p_{11} = \frac{N_{У ТМП}}{N_{ТОП}},$$

где  $N_{У ТМП}$  – количество учитываемых в специальном ПО контролируемых операций, свойства которых определяются результатами контроля ТМП;

$N_{ТОП}$  – количество операций, свойства которых определяются результатами контроля ТМП.

12. Частный показатель  $p_{12}(9)$  – редактируемость синтезированной модели процесса (характеризует реализуемость возможных вариантов изменения траектории синтезированной модели процесса средствами специального ПО):

$$p_{12} = \frac{N_{РЕД}}{N_{ПР}},$$

где  $N_{РЕД}$  – количество вариантов изменения траектории, реализуемых в специальном ПО;

$N_{ПР}$  – количество вариантов изменения траектории процесса, потенциально реализуемых при синтезе модели процесса в предметной области: начало, окончание по длительности, окончание по внешнему сигналу, приостановка, возобновление выполнения контролируемых операций.

### Комплексирование показателей

Для комплексирования частных показателей качества обработки ТМИ был выбран подход с применением нечеткой логики и положений теории планирования эксперимента, который получил широкую известность под названием полиномиального подхода [6, 7]. Он выгодно отличается несложностью применения, доступной трактовкой результатов и формированием оценок важности не только отдельно частных показателей, но и их сочетаний.

Использование такого подхода непосредственно для предложенной системы  $p_1-p_{12}$  не представляется возможным в связи с нереализуемой мощностью бланка экспертного опроса: необходимо задать эксперту  $2^{12} = 4096$  вопросов с вариантами сочетаний экстремальных значений частных показателей. Поэтому предлагается осуществлять комплексирование частных показателей на подгруппы мощностью не более 4 элементов с учетом их физической однородности (рисунок 2).

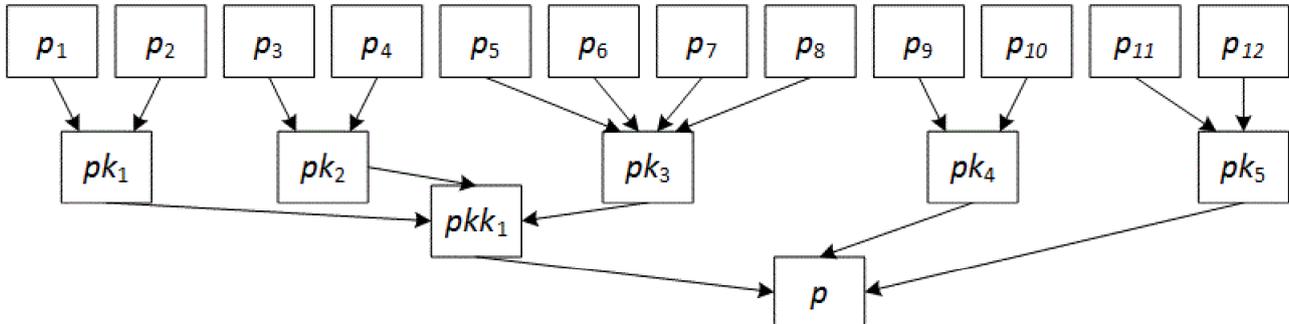


Рисунок 2 – Схема комплексирования частных показателей

Здесь  $pk_1$  – показатель степени доверия к результатам обработки;

$pk_2$  – показатель степени соответствия временной характеристики результата обработки требуемому значению;

$pk_3$  – показатель степени адекватности синтезированной модели процесса обработки своему прототипу;

$pk_4$  – показатель диагностируемости модели процесса обработки, характеризующий степень пригодности модели для поиска ошибок и недостатков;

$pk_5$  – показатель модифицируемости модели процесса обработки, характеризующий степень пригодности модели для совершенствования;

$pkk_1$  – показатель эксплуатационных характеристик применения специального ПО обработки;

$p$  – единый интегральный показатель качества обработки.

С учетом принципиального различия целей процесса обработки ТМИ на различных этапах жизненного цикла РН, расчет единого интегрального показателя  $p$  целесообразно осуществлять для следующих случаев:

1. Режим реального времени – мониторинг функционирования РН на этапе оперативной и экспресс-обработки и анализа ТМИ. Это участки подготовки, пуска РН и активный участок траектории, временной интервал формирования общих выводов о результатах испытаний и применения РН (до 3 часов после пуска).

2. Послеполетная обработка – анализ функционирования систем РН на этапе послеполетной обработки ТМИ. Это временной интервал до 30 суток после пуска, в течение которого формируется оперативный отчет по результатам подготовки к пуску, пуска и полета изделия.

3. Подготовка новых изделий – подготовка специального ПО, подготовка спецификации процесса, создание и верификация моделей для вновь вводимых изделий РН или при модифицировании систем в существующих типах РН. Это временной интервал до 3-4 месяцев перед планируемым пуском новой (модифицированной) РН.

4. Пополнение орбитальной группировки – обработка ТМИ РН на этапе оперативного восполнения орбитальной группировки космических аппаратов (в военное время или при непосредственной угрозе агрессии).

### **Заключение**

Предложенная система показателей разработана для оценивания качества специального ПО, применяемого в предметной области обработки и анализа ТМИ РН. Использование системы позволит предъявлять обоснованные, конкретизированные (количественные) требования к ПО в технических заданиях на НИР и ОКР по разработке и модернизации аппаратно-программных средств.

Перспективная модификация системы показателей позволит ее адаптировать для применения к широкому кругу программных продуктов.

### **Список использованных источников**

1. Бураков В.В. Управление качеством программных средств. – СПб.: ГУАП, 2009. – 288 с.
2. Fenton N.E., Neil M. Software Metrics: Roadmap // ICSE '00 Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering. – 2000. – P. 357-370.
3. Barry W. Boehm. Software Engineering Economics. Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. – 1981. – 767 p.
4. Goodman P.P. Software Metrics: Best Practices for Successful IT Management. Rothstein Associates. – 2004. – 264 p.
5. Шмелев В.В. Систематизация требований к разработке перспективных аппаратно-программных комплексов обработки телеметрической информации ракетно-космической техники // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – С. 38-46.
6. Зеленцов В.А., Павлов А.Н. Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 6 (49). – С. 7-12.
7. Павлов А.Н. Модели и методы планирования реконфигурации сложных объектов с перестраиваемой структурой: дис. докт. техн. наук. – СПб.: СПИИ РАН, 2014. – 381 с.
8. Новицкий П.В., Зоограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.