

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМЫ ОРУЖИЯ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ, РИСКОВ

*А.С. АФАНАСЬЕВ, К.М. ИВАНОВ, Ю.Л. ВЯЩЕНКО*

*Балтийский государственный технический университет (ВОЕНМЕХ)*

*им Д.Ф. Устинова БГТУ, E-mail: komdep@bstu.spb.su.*

Вопросы надежности, безопасности и рисков (в дальнейшем надежность рассматривается как превалирующая характеристика) систем оружия актуальны для оборонных отраслей. Постоянно совершенствуются методы анализа, оценки и обеспечения надежности комплексов вооружений (КВ). Вместе с тем не удается преодолеть противоречие между желаемым и действительным положением в реализации научных результатов и рекомендаций в практической сфере.

Требуется кардинальный пересмотр отношения к проблеме: нужны новая идеология и методология. Востребована модернизация организации и управления процессами создания изделия заданной гарантированной надежности, адекватного надежного сопровождения изделий. Целью разрешения противоречия является повышение эффективности процессов жизненного цикла КВ, выражаемое в сроках, гарантиях, затратах.

К настоящему времени формализованы методы оценки показателей надежности (ПН), идентификационные признаки и условия выбора методов. Приоритеты применения методов оценки ПН в различных проектных ситуациях могут быть выражены в виде схемы (рис. 1), связывающей последовательность выполнения проектных стадий с характером постановки проектных задач. Целесообразность применения методов определяется уровнем формализации проектной задачи как задачи синтеза: синтеза принципов действий – структурного синтеза – параметрического синтеза – задач отработки конструкций изделий на надежность.

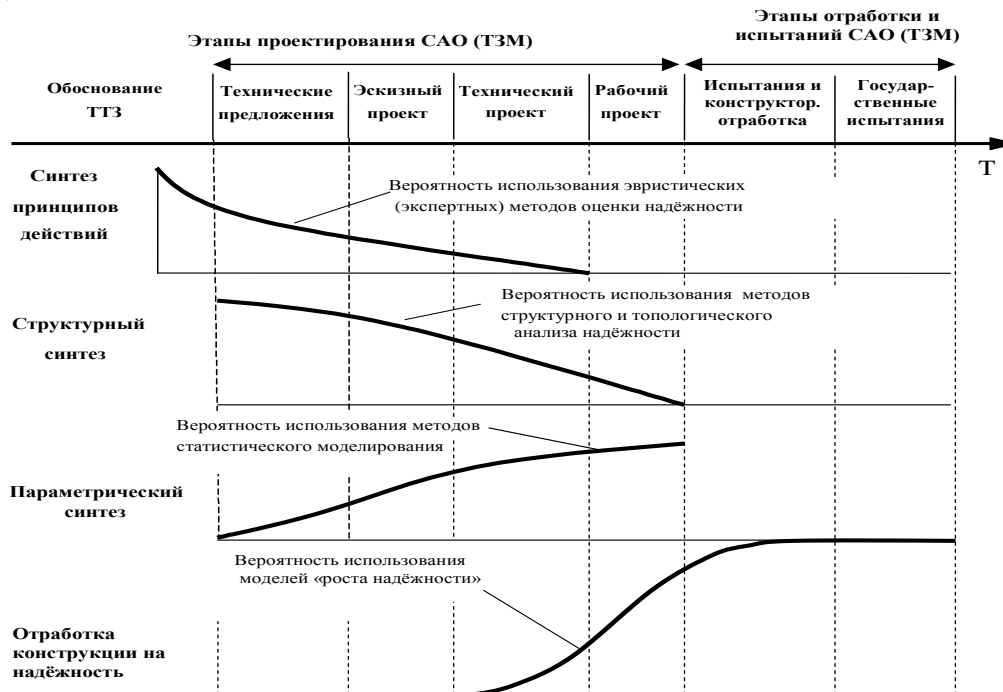


Рис. 1. Схема предпочтений методов оценки ПН.

Освоенные методы и алгоритмы, накопленный опыт в проведении анализа и оценки надежности предопределили возможность последующих шагов в направлении повышения эффективности всей системы надежностного сопровождения процессов жизненного цикла, прежде всего, за счет ставшего необходимым методологического «переворужения» на базе современных информационных технологий.

В качестве теоретической основы новой методологии представляется востребованным информационно-системный подход, для которого сложились теоретические и прикладные предпосылки реализации. Проблема создания эффективно действующей системы анализа, оценки и обеспечения надежности решается на пересечении представлений теории информации, теории систем, теории надежности, теории проектирования КВ в русле преобразований, связанных с информатизацией, затронувшей все передовые отрасли. Для формализации информационного процесса анализа и оценки надежности создание КВ представляется как сложная динамическая информационная система. Формализация включает обоснование аксиоматики, информационно-системной модели процесса разработки КВ заданной надежности и информационной динамической модели надежности создаваемого изделия.

Такая формализация даст необходимую теоретическую основу разработки системы организационных, методических, математических и программных средств проведения точного и достоверного анализа надежности образцов КВ, а также теоретическую основу оптимального планирования хода разработки и обеспечения требуемой надежности изделия при рациональном использовании материальных, стоимостных и временных ресурсов.

Аксиоматика устанавливает соотношение целей функционирования системы, воздействий управления, показателей ценности информации управления и входной информации, операторов преобразования входной информации, операторов преобразования производимых затрат, информационного коэффициента адекватности.

Цели задаются в виде границ областей допустимых значений параметров  $[ПН_{ij}, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, s}]$ , нахождение внутри которых отвечает достижению цели, и ущербов  $E_v(ПН_{ij})$  для всех различных состояний проекта создаваемого образца КВ  $ПН_{ijv} \notin \{[ПН_{ij}] \gamma_{ij}; i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}, v = \overline{1, m}\}$  за границами допустимых значений показателей надежности. (Здесь параметрами  $ПН_{ij}$  являются показатели надежности создаваемого образца КВ, включённые в ТТЗ;  $n$  - число показателей надежности,  $s$  - число этапов разработки образца КВ,  $m$  - число различных вариантов проекта разрабатываемого изделия по  $i$ -му показателю надежности на  $j$ -м этапе разработки;  $\gamma$  - доверительная вероятность нахождения значений ПН в заданных пределах). Полное достижение цели состоит в выполнении условий:

$$1) ПН_{ij} \in [ПН_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}; \quad 2) E_v(ПН_{ij}) \xrightarrow[\substack{i=\overline{1, n} \\ j=\overline{1, s} \\ v=\overline{1, v}}]{\quad} 0.$$

Под ущербом здесь понимается расчётное значение потери эффективности разрабатываемого образца КВ (для  $v$ -го различного состояния проекта изделия) вследствие несоответствия значения ПН требованиям ТТЗ.

За показатель недостижения цели, учитывающий вероятности появления рассогласования  $ПН_{ij}$  и  $ПН_i^H$  (номинальное значение  $ПН_i$  - математическое ожидание значения  $ПН_i$ , граничное значение  $ПН_i$  и т.п.) и ущерб от такого рассогласования, принята аддитивная мера неорганизованности функционирования системы проектирования:

$\overline{O}_j = \bigcup_{i=1}^n \alpha_{ij} \bigcup_{v=1}^m P_{ijv} \Psi(\Delta ПН_{ijv})$ , где  $\Delta ПН_{ijv} = (ПН_i^H - ПН_{ijv})$ ;  $P_{ijv}$  - вероятность  $v$ -го состояния рассогласования  $ПН_{ij}$ ;  $\alpha_{ij}$  - весовые коэффициенты показателей надёжности,  $\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1$ . Если функция  $\overline{O}_{ij}$  нормирована, то область её значений  $0 \leq \overline{O}_{ij} \leq 1$ . Параметр  $\Delta ПН_{ijv}$  может рассматриваться как мера неупорядоченности функционирования системы проектирования по  $i$ -му показателю надёжности. Функция  $\Psi(\Delta ПН_{ijv})$  отражает связь  $\Delta ПН_{ijv}$  и  $E_v(ПН_{ij})$ . В основе определения функции  $\Psi$  лежит понимание ущерба  $E_v(ПН_{ij})$  как показателя, производного от критериев эффективности, традиционных для систем оружия. В области вооружений используются критерии типа «эффективность-стоимость», отражающие, согласно постулатам исследования операций, необходимость сближения действительных значений показателей боевой эффективности ( $\mathcal{E}$ ) с требуемыми значениями ( $\mathcal{E}_{mp}$ ) при одновременном непревышении затрат на разработку изделия ( $C$ ) заданным значениям ( $C_{don}$ ) или при более сильной формулировке - минимизации затрат:  $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{mp}, C \leq C_{don} (C \rightarrow \min)$ . При таком понимании критериев эффективности КВ показатель ущерба должен восприниматься как мера несоответствия по любой из компонент  $\mathcal{E}$ ,  $C$  или по обеим одновременно.

Таким образом, неорганизованность функционирования системы проектирования образца КВ на  $j$ -м цикле разработки в отношении  $i$ -й цели  $\overline{O}_{ij}$  является величиной тяжести ущерба, обобщённой по ансамблю неупорядоченности.

Процесс разработки изделия как процесс последовательного снятия неопределённости (неорганизованности) в целенаправленном поиске окончательного варианта - управляемый процесс. Организующие воздействия управления (проектно-конструкторские, технологические, организационные решения и мероприятия) определяются полезной информацией управления, вещественно-энергетической частью системы проектирования и её исполнительными органами. Организующее воздействие управления в отношении  $i$ -й цели ( $i$ -го ПН) соответствует величине снятой неорганизованности  $\Delta \overline{O}_{ij}$ , определяющейся функцией количества взвешенной по полезности информации принятия решения  $I_{npij}$ .

Таким образом, предлагаемая аксиоматика отражает информационный процесс разработки изделия на определённом  $j$ -м проектном этапе. Цикличность же процесса создания изделия и изменения, связанные с переходом с одного проектного этапа на другой, обуславливают необходимость информационного критерия - информационного коэффициента адекватности. Такой критерий учитывает особенности состояния и организации информационного процесса разработки изделия в этих характерных точках перехода. Здесь контролируется выполнение условий перехода с этапа на этап, связанное с проверкой выполнения требований  $ПН_{ij} \in [ПН_{ij}] \gamma_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , и перестраивается процесс в том отношении, что осуществляется переход к очередному уровню генерирования описания (представления) проектируемого изделия с соответствующим перестроением информационной базы, системы принятия решений и т.п. Информационный коэффициент адекватности ( $\eta_j$ ), характеризует степень приближения объекта анализа  $j$ -го этапа разработки объекту анализа, соответствующую

щему изделию, разработка которого полностью завершена:  $0 \leq \eta_j \leq 1, j = \overline{1, s}$  ( $\eta_s = 1$  - значение информационного коэффициента адекватности на завершающем этапе разработки изделия). Таким образом, организация управления процессом разработки изделия на основе рассмотренных информационно-системных принципов обеспечивает достижение поставленной цели на каждом проектном цикле (принятие проектно-технических решений, отвечающих требованиям ТТЗ, и, вместе с тем, являющихся адекватными рассматриваемому проектному  $j$ -му этапу, адекватными соответствующему уровню описания или представления разрабатываемого изделия). Применительно же к процессу разработки изделия в целом цель достигается полностью лишь по завершении разработки изделия. Такое понимание поэтапного проектирования отражает его реальный характер.

Многоэтапный процесс разработки изделия представляется иерархической динамической информационной системой, подсистемы и элементы которой есть операторы иерархической структуры  $(L_j, L_j^i)$ , преобразующие входные информационные потоки  $(I_{\text{вх}(i-1)})$  и внешние информационные воздействия  $(I_{\text{вх}j})$  в выходную информацию  $(I_{\text{вых}j})$ , и преобразователи

$(\eta_j, \eta_j^i)$ , осуществляющие коррекцию достоверности данных, вырабатываемых операторами  $L_j, L_j^i$  в соответствии с их местом и назначением в системе (рис. 2). Качественная картина динамики параметров рассматриваемой информационной системы изображена на рис. 3.

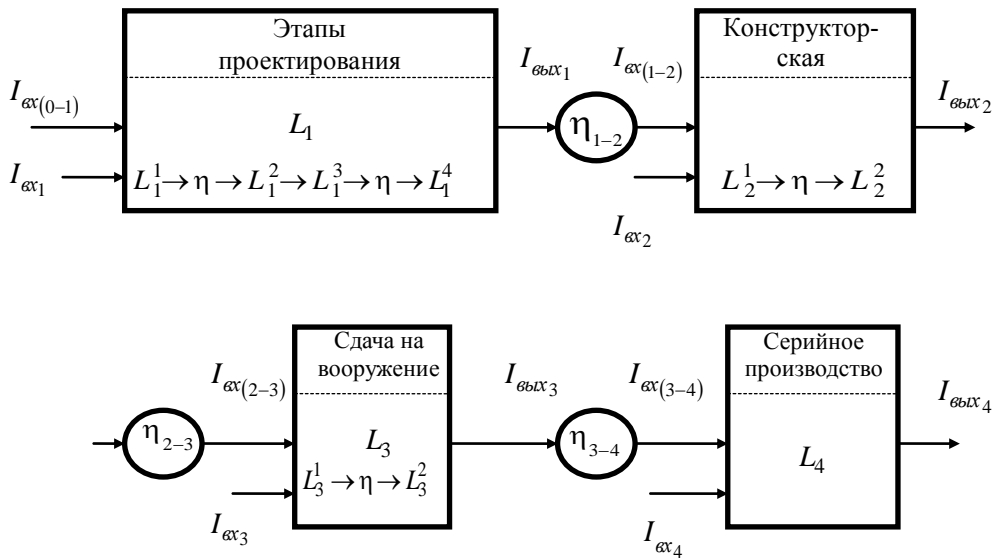


Рис.2. Информационно-системная модель процесса создания КВ заданной надежности.

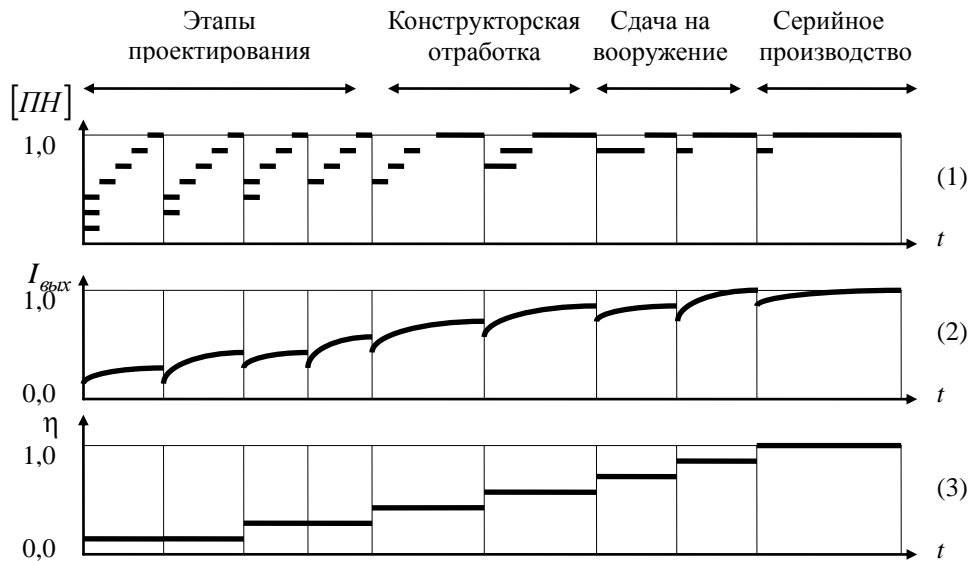


Рис.3. Динамика информационных параметров системы создания КВ заданной надежности:

- (1) характеризует поэтапное изменение значений целевых параметров - ПН, выполнение требований по которым на каждом этапе разработки является целью функционирования системы и одновременно условием перехода к последующему этапу; (2) отражает характер поэтапного накопления информации разработки изделия до достижения результата, отвечающего конечному состоянию разработки; (3) - шкала адекватности ( $\eta$ ) достигаемого поэтапного результата разработки конечному облику изделия.

Подобная схематизация позволяет формировать «управляющие воздействия», направленные на достижение целей разработки образца, на рациональную организацию информационного процесса создания изделия заданной надёжности, на реализацию эффективной системы обеспечения надёжности разрабатываемого изделия с контролем уровня достигнутых значений ПН, с анализом точности и достоверности их определения.

С информационно-системных позиций цепь (этап разработки - ПН - метод - алгоритм - данные) является системой следующих, согласованных друг с другом понятий и элементов: номенклатуры ПН, формы их задания (точечные показатели, интервальные показатели), характера задания количественных требований по надёжности (ПН), алгоритма метода, используемого для оценивания действительных значений ПН, состава и характера «переносной» с предшествующих этапов разработки информации об оцениваемых ПН. Согласование перечисленных элементов с соответствующим этапом разработки изделия вызывает необходимость моделирования состояний изделия (работоспособное, неработоспособное) и событий (отказ, неисправность). С этой целью вводится информационная динамическая модель надёжности (ИДМН), выражающая эволюцию информационного содержания анализа и оценки надёжности как адекватного отображения знания об объекте разработки по проектным стадиям. Все компоненты ИДМН и сама модель являются функциями  $j$ -го этапа разработки изделия ( $j = \overline{1, s}$ ). Информационная динамическая модель надёжности, соответствующая  $j$ -му этапу разработки, представляет собой выражение

ИДМН<sub>*j*</sub> = {  $PH_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ );  $[PH_{ij}]_{\gamma}$ ;  $R_j$ ;  $Q_j$ ;  $f_{\mu_j}$ ;  $I_{\alpha_j}^{\gamma}$ ;  $I_{\alpha_j}^{(j-1)}$ ;  $j = \overline{1, s}$  }. Здесь  $PH_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) - вектор ПН, подлежащих расчёту на *j*-м этапе разработки изделия;  $[PH_{ij}]_{\gamma}$  - требования к значениям ПН в виде интервалов допустимых значений с соответствующей доверительной вероятностью  $\gamma$ ;  $R_j$  - модель работоспособности изделия, адаптированная *j*-му этапу разработки;  $Q_j$  - модель отказа изделия, адаптированная *j*-му этапу разработки;  $f_{\mu_j}$  - алгоритм метода { $\mu$ } оценки  $PH_{ij}$ , используемый на *j*-м этапе разработки изделия;  $I_{\alpha_j}^{\gamma}$  - входная синтаксическая информация, используемая для оценки ПН изделия на *j*-м этапе разработки с требуемой точностью и достоверностью  $\gamma$ ;  $I_{\alpha_j}^{(j-1)}$  - входная информация взвешенная по полезности, перенесённая с предшествующего проектного этапа (*j*-1) на рассматриваемый *j*-й этап.

ИДМН по своему назначению является центральным звеном информационно-системной модели процесса разработки КВ заданной надёжности. На ИДМН приходится основная нагрузка как в координации надёжностного анализа относительно целевой функции поэтапной разработки образца, в преобразовании входной информации в адекватные проектному этапу оценки ПН разрабатываемого КВ, так и в определении требований к инструментальной реализации информационно-системной модели в виде автоматизированной системы анализа и оценки надёжности КВ.

Представленная методология информационно-системной формализации процессов анализа и оценки надёжности КВ по этапам НИОКР и жизненного цикла, а также формирование «управляющих воздействий», направленных на достижение целей разработки, на реализацию эффективной системы обеспечения надёжности разрабатываемых изделий с контролем уровня достигнутых значений ПН, с анализом точности и достоверности их определения, позволяет сформулировать задачу оптимизации процесса разработки КВ заданной надёжности.

При целевой установке - спроектировать образец КВ заданной надёжности, отвечающий всем требованиям ТТЗ, в заданные сроки, минимизируя средства, необходимые для его создания - в качестве критериев оптимизации процесса разработки целесообразно использовать суммарные затраты на разработку образца, соотнесённые с неорганизованностью функционирования системы ( $\bar{O}$ ), или, что эквивалентно, с обеспечиваемыми требуемыми по ТТЗ уровнями надёжностных характеристик изделия и гарантии их достижения.

В формальной постановке (в терминах изложенной методологии) рассматриваемая задача в обобщённом виде формулируется следующим образом: по этапам разработки КВ ( $j = \overline{1, s}$ ) распределить ресурсы ( $C_j$ ) и степень приближения поэтапных результатов разра-

ботки к конечному облику изделия ( $\eta_j$ ) таким образом (иначе, управление в задаче  $\left\{ \begin{matrix} C_j \\ \eta_j \end{matrix} \right\}$

$j = \overline{1, s}$  выбрать таким), чтобы свести к нулю неорганизованность проектирующей системы  $\bar{O} \rightarrow 0$  и одновременно минимизировать суммарные затраты ( $C_{\Sigma}$ ) на разработку и выпол-

нить требования по длительности разработки  $T_{\Sigma} \leq [T]$ , т.е.  $\left\{ \begin{matrix} C_j \\ \eta_j \end{matrix} \right\} j = \overline{1, s} : \bar{O} \rightarrow 0$ ,

$$C_{\Sigma} \rightarrow \min, T_{\Sigma} \leq [T].$$

С учетом эквивалентности соотношения  $\bar{O} \rightarrow 0 \equiv \{PH_{ij} \in [PH_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}\}$  оптимизационная задача приобретает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} C_j \\ \eta_j \end{array} \right\}_{j = \overline{1, s}} : \quad C_{\Sigma} \rightarrow \min \left\{ PH_{ij} \in [PH_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s} \right\}, \quad T_{\Sigma} \leq [T].$$

Управление в рассматриваемой оптимизационной задаче представляется вектором обобщённых характеристик - поэтапными затратами ( $C_j$ ) и показателем адекватности ( $\eta_j$ ). В реальном процессе разработки КВ заданной надёжности это обобщённое управление реализуется через управляющие воздействия, определяемые, в свою очередь, взаимодействием потоков информации и преобразующих их операторов.

Очевидно, что обсуждаемая информационно-системная методология обуславливает новую парадигму в определении направлений ее дальнейшего развития и реализации. Основными положениями новой парадигмы являются:

- Создание интегральной информационной среды, «покрывающей» все процессы жизненного цикла. Информационная интегральная среда строится с использованием онтологических технологий (онтологии – концепты – атрибуты), обеспечивающих связное системное представление иерархии и содержания системы понятий предметных областей. Структура информационной среды (сбор, обработка, документирование, транспортирование данных) динамическая, включает информационное обеспечение и сопровождение в процессах жизненного цикла.
- Использование многоагентных технологий в реализации управлений в информационных и организационных структурах всех этапов, стадий и в целом жизненного цикла.
- Многовекторность направлений развития (совершенствования) и освоения многокомпонентного инструментария и программных ресурсов, обеспечивающих решение всей совокупности задач (моделирование, исследования, расчеты, экспертизы и т.п.) на этапах и стадиях жизненного цикла.
- Осознание приоритетной роли систем обеспечения качества, эффективности и надежности как факторов управления рисками, гарантиями и конкурентоспособностью.

Перечисленным позициям должна отвечать автоматизированная система, являющаяся инструментальной реализацией рассмотренной информационно-системной модели процесса разработки КВ заданной надежности. Поиск адекватной автоматизированной системы анализа и оценки надёжности КВ привёл к опытной и промышленной эксплуатации системы PTCWindchillQualitySolutions® в среде информационной системы PTCWindchill совместно с CAD/CAM/CAE системой PTC Creo (рис. 4). Результаты показали, что удалось достичь высоких значений коэффициентов адекватности в процессе реализации стадий ОКР и, следовательно, более высоких значений уровней доверительной вероятности оценки заданных ТТХ (КХ). Что привело к повышению уровня «отработанности» конструкции изделия и сокращению затрат на испытания опытного образца.

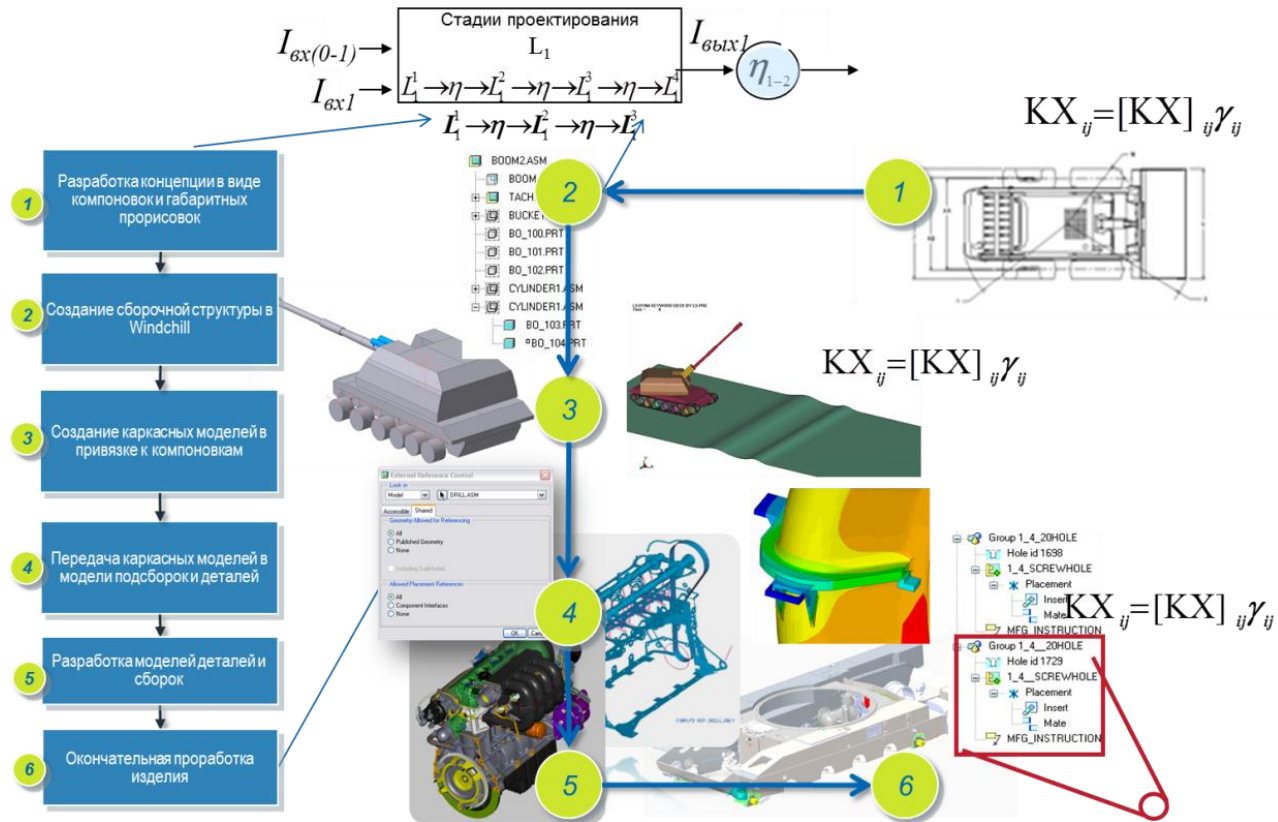


Рис. 4 . Повышение качества ОКР