

УДК: 658.51

DOI: 10.53816/20753608_2021_4_7

**ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ПЛАНИРОВАНИИ НИОКР
ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
(НАДЕЖНОСТИ) ВТОРОГО РОДА**

**PROJECT MANAGEMENT IN PLANNING R&D OF MILITARY PRODUCTS
AS A RISK (RELIABILITY) MANAGEMENT PROBLEM OF THE SECOND KIND**

А.С. Афанасьев¹, Ю.Л. Вященко¹, чл.-корр. РАРАН К.М. Иванов¹, чл.-корр. РАРАН Н.В. Клейн²

¹БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ²ПАО «Машиностроительный завод им. М.И. Калинина»

A.S. Afanasyev, Yu.L. Vyashchenko, K.M. Ivanov, N.V. Klein

Проектное управление при информационном согласовании последовательных этапов жизненного цикла изделия приводит к постановке оптимизационной задачи надежности (рисков) второго рода. Представленная оптимизационная задача направлена на поиск оптимальных проектных решений с учетом взаимозависимости процессов по этапам жизненного цикла изделия военного назначения. Решение задачи позволяет минимизировать риски и суммарные затраты на создание образца при выполнении ограничений на значения системных параметров, с заданной доверительной вероятностью за заданные сроки.

Ключевые слова: жизненный цикл, проектное управление, оптимизация, минимизация рисков.

Project management with informational coordination of successive stages of the product life cycle leads to the formulation of an optimization problem of reliability (risks) of the second kind. The presented optimization problem is aimed at finding optimal design solutions, taking into account the interdependence of processes at all stages of the life cycle of a military product. Solving the problem allows you to minimize the risks and total costs of creating a sample when the constraints on the values of system parameters are met, with a given confidence level within a given time frame.

Keywords: life cycle, project management, optimization, risk minimization.

Введение

Задачи оптимизации процесса разработки изделия военного назначения (ИВН) при заданных рисках первого рода состоят в обосновании оптимальных требований по рискам (надёжности) изделий.

В данной статье рассматривается постановка оптимизационной задачи второго рода, связанная с управлением процессами разработки изделия уже при заданных оптимальных требованиях надёжности, когда необходимо оптимальным образом распорядиться выделенными

ресурсами, добиваясь осуществления требуемых гарантий в разработке изделий военного назначения заданных рисков (надёжности).

**Проектное управление
как задача управления рисками
(надёжности) второго рода**

В задаче второго рода в качестве критериев оптимизации процесса разработки целесообразно использовать суммарные затраты на разработку образца, соотнесённые с неорганизованностью функционирования системы ($\bar{O}$), или, что

эквивалентно, с требуемыми по тактико-техническому заданию (ТТЗ) уровнями допустимых рисков (надёжностных характеристик) системных параметров изделия и гарантиями их достижения [1, 2].

Оптимизационные задачи первого и второго рода взаимозависимы, причем в первую очередь, направленностью на управление рисками и их минимизацию в процессах жизненного цикла изделий [3–5].

Информационно-системная формализация [1], оперирующая информационными мерами, критериями и шкалами, вводит в обращение информационные показатели (η_j, V_j, W_j). Здесь $\eta_j, j = \overline{1, s}$ — информационный показатель адекватности достигаемого поэтапного результата разработки конечному облику изделия; V_j — информационный показатель производственно-технологической воспроизводимости; W_j — информационный показатель логистической воспроизводимости, s — количество этапов разработки. В рассматриваемых оптимизационных задачах информационные показатели адекватности η_j , производственно-технологической воспроизводимости V_j и логистической воспроизводимости W_j рассматриваются в качестве управлений. Введение информационных показателей обусловлено необходимостью учета «информационного разрыва» в точках перехода с этапа на этап в процессах жизненного цикла и преодоления информационных разрывов для наиболее полного информационного согласования этапов.

Организация работ предполагает постоянный менеджмент рисков, выполняемый как «фоновая задача» во всех работах проекта всеми его участниками в параллельных «потоках» проектирования (проектирование системы, ее компонентов, технологии производства и монтажа, процесса эксплуатации [6–8]).

Совокупность сквозных связей потоков проектирования может быть представлена сетевым графом, который отражает интеллектуально-информационную динамическую сеть связей и отношений, характеризующих информационное согласование в потоках проектирования образца ИВН. Основу сетевого графа составляет базовая схема информационного сопряжения последовательных циклов информационного процесса разработки образца [1].

В качестве иллюстрации рассмотренных положений приводится схема сетевого графа (рис. 1). Все количественные значения информационных показателей, приведенных на схеме, должны быть защищены экспертным анализом и базами знаний.

Учитывая логику информационного согласования последовательных этапов жизненного цикла изделия, постановка оптимизационной задачи второго рода формулируется следующим образом. Управления в виде значений информационных показателей η_j, V_j, W_j и поэтапных затрат C_j должны быть выбраны такими, чтобы минимизировать суммарные затраты C_Σ при выполнении ограничений на значения системных параметров $СП_{ij} \in [СП_{ij}]$ с заданной доверительной вероятностью γ_{ij} за заданные сроки T_Σ :

$$\begin{aligned} & \forall_i (i = \overline{1, N}); \\ & \left\{ \begin{array}{c} C_j \\ \eta_j \\ V_j \\ W_j \end{array} \right\}; j = \overline{1, s}; \\ & C_\Sigma \rightarrow \min \\ & \Rightarrow \forall_i (i = \overline{1, N}) \{ СП_{ij} \in [СП_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s} \}; \\ & T_\Sigma \leq [T_j], \end{aligned}$$

где N — число системных параметров.

Сформулированная оптимизационная задача направлена на поиск оптимальных проектных решений с учетом взаимозависимости процессов по этапам жизненного цикла ИВН. Решение задачи предполагает определение основных тенденций поведения оптимизируемых параметров во взаимодействии с варьируемыми переменными при допущении о монотонности и непрерывности анализируемых связей и отношений.

В приближении решения задачи рисков (надёжности) второго рода при анализе соотношений параметров (η_j, V_j, W_j, C_j и T_j) используются логико-вероятностное моделирование, информационный и экспертный методы [2]. При этом вводятся следующие параметры, отражающие состояние системы:

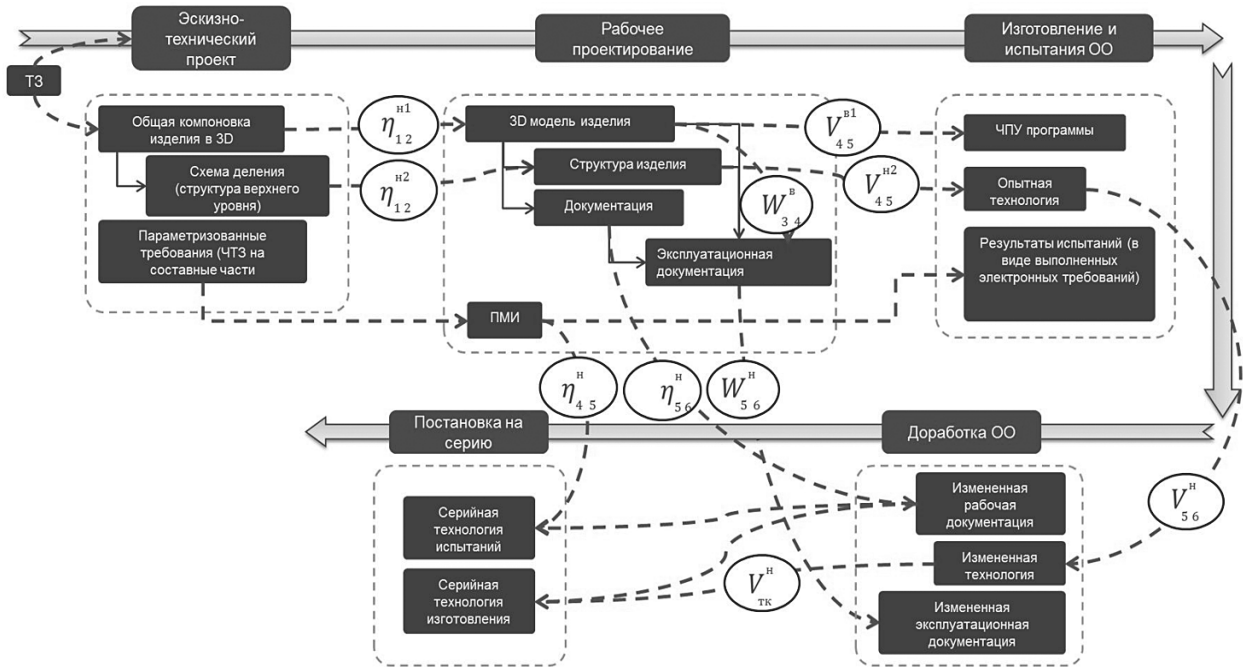


Рис. 1. Схема сетевого графа информационного согласования последовательных этапов жизненного цикла изделия (ТЗ — техническое задание; ЧТЗ — частное техническое задание;

ПМИ — предварительные межведомственные испытания; ЧПУ — числовое программное управление; η , V и W — информационные коэффициенты адекватности, производственно-технологической и логистической воспроизводимости)

$k_1(j=1, s_1)$ — состояние процесса проектирования и карты технологических процессов (КТП);

$k_2(j=1, s_2)$ — состояние процесса отработки и испытаний;

$s = s_1 + s_2$ — общее количество этапов.

Кроме того, задаются значения $P(k_i)$ — априорные вероятности состояний, понимаемые как количественные выражения условных обобщённых объёмов работ, выполняемых в k_i — состоянии системы на j -этапе разработки ИВН:

$$\sum_{i=1}^2 P(k_i) = \sum_{j=1}^{s_1} P_{k_1}(j) + \sum_{j=1}^{s_2} P_{k_2}(j) = \sum_{j=1}^S P(j) = 1.$$

Здесь вероятности $P(j) = P((\eta\nu w)_j, C_j, T_j)$ определяются значениями параметров $(\eta\nu w)_j$, C_j, T_j являющихся признаками состояния j системы.

Очевидна зависимость

$$\left. \begin{matrix} (\eta\nu w)_j \\ C_j \\ T_j \end{matrix} \right\} = f(\bar{I}_j),$$

где $\bar{I}_j$ — осредненная полезная (ценная) информация.

При решении оптимизационной задачи [9, 10] вводится параметр Λ_j^k — интенсивность «инструментализации» j -го этапа проектирования k_i -го состояния системы. Предполагается, что

$$p(t_j) = 1 - \exp(-\Lambda_j^k t_j),$$

где t_j — суммарное число использованных инструментов на j -м этапе или число подсистем ИВН, подвергнутых воздействию инструментов. При этом среднее число

$$\bar{t}_j = \frac{1}{\Lambda_j}; \quad \bar{I}_{ij} = \Phi(I_i),$$

где I_i — оператор i -го инструмента;

$I_i = I_i(\bar{x}_i)$; $\bar{x}_i = (x_{i1} + x_{2i}, \dots, x_{Ni})$ — параметры i -го инструмента;

$\bar{I}_j = \bar{I}_{ij} \bar{t}_j$, где $\bar{I}_{ij}$ — осреднённая полезная информация использования i -го инструмента на j -м этапе.

На рис. 2 показана схема моделирования решения задачи управления рисками второго рода.

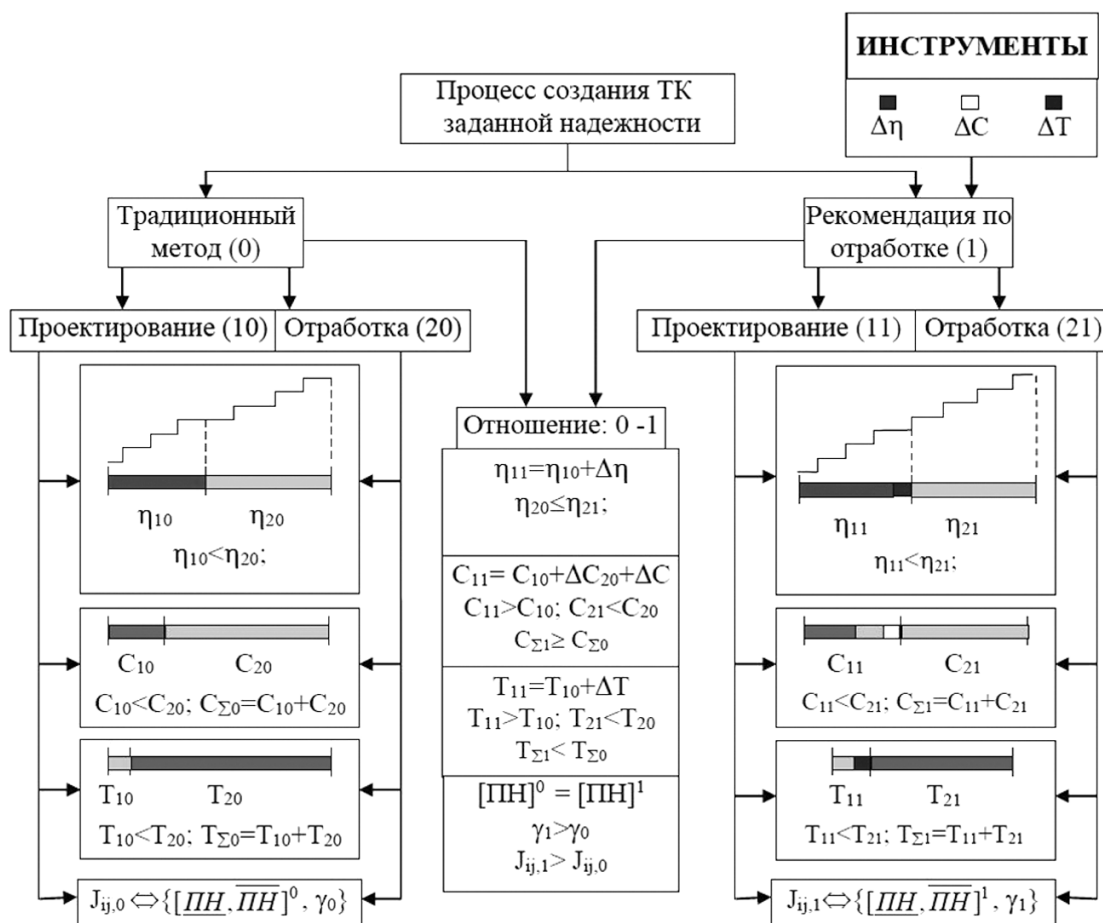


Рис. 2. Схема моделирования решения задачи надежности второго рода

Предполагается, что процесс разработки ИВН заданного риска (надёжности) в традиционном виде (0) включает в себя два этапа: проектирование, включая карту технологических процессов ([11, 12]), обозначенное (10), и отработку (20). Каждому этапу ставятся в соответствие параметры (информационные коэффициенты адекватности, производственно-технологической воспроизводимости, логистической воспроизводимости — $(\eta\nu w)$, стоимость — C , время — T) и их суммарные значения. При этом используются обозначения с индексами $(\eta\nu w)_{10}, C_{10}, T_{10}; (\eta\nu w)_{20}, C_{20}, T_{20}; C_{\Sigma 0}, T_{\Sigma 0}$. Аналогично? при рассмотрении процесса разработки, осуществляемого с использованием рекомендуемых «инструментов» по отработке ИВН на надёжность (1), вводятся параметры $(\eta\nu w)_{11}, C_{11}, T_{11}; (\eta\nu w)_{21}, C_{21}, T_{21}; C_{\Sigma 1}, T_{\Sigma 1}$.

Таким образом, каждый из вариантов процесса разработки (0 и 1) включает в себя совокупности состояний K (k_1 — состояние проек-

тирования и КТП, k_2 — состояние отработки) и совокупности признаков $Y(y_1, y_2, y_3)$, соответствующие варьируемым параметрам $((\eta\nu w), C, T)$.

При разработке ИВН заданной надёжности по схеме, показанной на рис. 2, следует ожидать повышения эффективности проектных процедур, выражаемого следующими соотношениями:

$$(\eta\nu w)_{11} = (\eta\nu w)_{10} + \Delta(\eta\nu w),$$

$$(\eta\nu w)_{21} = (\eta\nu w)_{20};$$

$$C_{11} = C_{10} + \Delta C, C_{21} = C_{20} - \Delta C, C_{\Sigma 1} = C_{\Sigma 0};$$

$$T_{11} > T_{10}, T_{21} < T_{20}, T_{\Sigma 1} < T_{\Sigma 0}.$$

Приведенные соотношения отражают целевую направленность решения рассматриваемой задачи. В процессе отработки и испытаний ИВН на надёжность необходимо определить момент

перехода с текущего этапа на следующий. Для определения признака перехода может использоваться информационная мера.

Следует учитывать, что на каждом этапе разработки может возникать следующая ситуация. Неопределенность системы обработки и испытаний ИВН обычно значительна, то есть показатели надежности (ПН) изделия военного назначения не соответствуют заданным требованиям, а количество информации, определяющее состояние ИВН и его подсистем, полученное при обработке, недостаточно. В этом случае использование инструментов позволит снять неопределенность и увеличить информацию, определяющую состояние ИВН. Условием перехода на следующий этап является достижение требуемых значений ПН и доверительной вероятности, и соответственно, достижение значения информации, отражающего данный результат.

Условие перехода с этапа j на этап $j+1$ записывается в следующем виде:

$$J : \text{ПН}_j \in \{[\underline{\text{ПН}}, \overline{\text{ПН}}], \gamma\} \equiv [J],$$

где $[J]$ — информационное условие перехода с этапа на этап.

На каждом этапе достигаемый эффект при использовании j -го инструмента (I_j) может быть записан в следующей форме:

$$I_j \rightarrow \Delta(\eta\nu w)_j^1 \rightarrow \Delta\gamma_j^1 \rightarrow \Delta J_j^1$$

или

$$\Delta J_j^1 = f(I_j).$$

Поскольку $\gamma_{j+1} = \gamma_j(\eta\nu w)_j$ и, одновременно, $(\eta\nu w)_j^1 = (\eta\nu w)_j^0 + \Delta(\eta\nu w)_j^1$, $\gamma_j^1 = \gamma_j^0 + \Delta\gamma_j^1$, то $\gamma_{j+1}^1 = \gamma_j^1(\eta\nu w)_j^1 > \gamma_{j+1}^0 = \gamma_j^0(\eta\nu w)_j^0$.

В процессе обработки и испытаний ИВН необходимо рассмотреть изменение информации J при изменении значений показателей надежности ПН и доверительной вероятности γ . Для этого может быть использовано соотношение Рипса [1]:

$$J = \gamma \ln \frac{\gamma}{1 - \underline{\text{ПН}}} + (1 - \gamma) \ln \frac{1 - \gamma}{\underline{\text{ПН}}}.$$

Определение значений информационной функции при каждом использовании инструментов и комплексного алгоритма в процессе обработки и испытаний позволяет исследовать

динамику накопления информации в процессе отработки и испытаний с использованием инструментов.

Для решения такой задачи необходимо знать характер поведения информационной функции (J) в зависимости от значений ПН и γ . Пример представления соответствующих данных представлен на рис. 3 [1, 2].

Имея общую зависимость $J = f(p_n, \gamma)$, можно исследовать характер изменения значений J в зависимости от применения инструментов комплексного алгоритма, и в зависимости от значения $(\eta\nu w)$ — информационного критерия, характеризующего свойства информационной системы координат j -го этапа процесса проектирования ИВН. Зависимость от числа этапов отработки и испытаний ИВН определяет динамику накопления информации в процессе отработки и испытаний и позволяет оптимизировать информационную функцию при исследовании отношения между p_n и γ . Пример достижения результатов оптимизации показаны на рис. 4.

Обеспечение проектного управления в задаче надежности (рисков) второго рода

Постановка и решение оптимизационных задач рисков второго рода, в свою очередь, предусматривает использование следующих систем, обеспечивающих процессы жизненного цикла изделий:

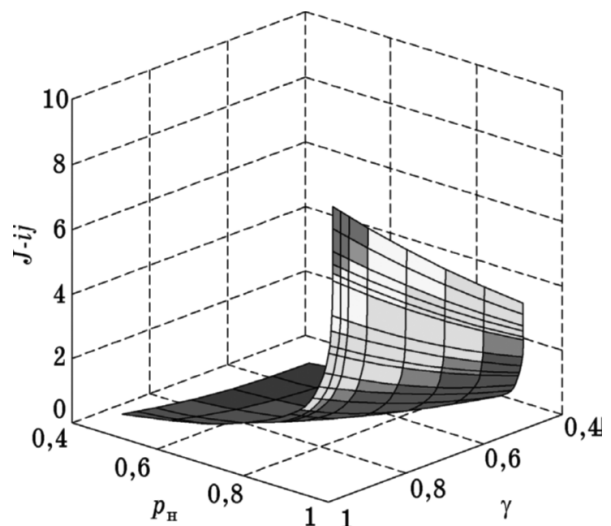


Рис. 3. График изменения информационной функции

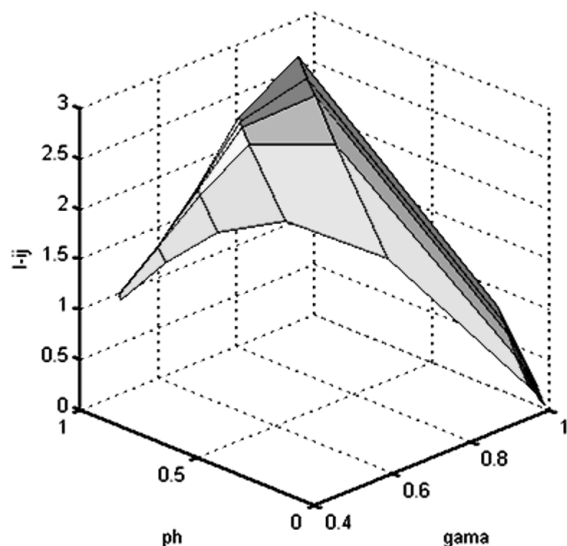


Рис. 4. Оптимизация информационной функции по результатам эксперимента

- развитая PLM-система высокого уровня в тесной интеграции с CAD-системами высокого уровня;
- система оценки технических рисков и надежности;
- система баз знаний, определяющая влияние параметров ресурсов проектировщиков на

значения информационных показателей, стоимостные и временные затраты проектных процедур и этапов;

- система формализации процессов и процедур всех потоков проектирования;
- система формализации процессов накопления и преобразования проектной информации, построенная с учетом информационных разрывов;
- система количественной оценки информационных функций, формирования информационно-функциональных структур управления проектными рисками.

На рис. 5 представлен фрагмент диаграммы — составной части информационно-функциональной структуры управления проектными рисками, разработанной в системе SimInTech.

Выводы

Рассмотренный подход к оптимизации распределения затрат по этапам жизненного цикла на базе методологии проектного управления (к решению задач управления рисками второго рода) является востребованным при прогнозировании и планировании перспектив-

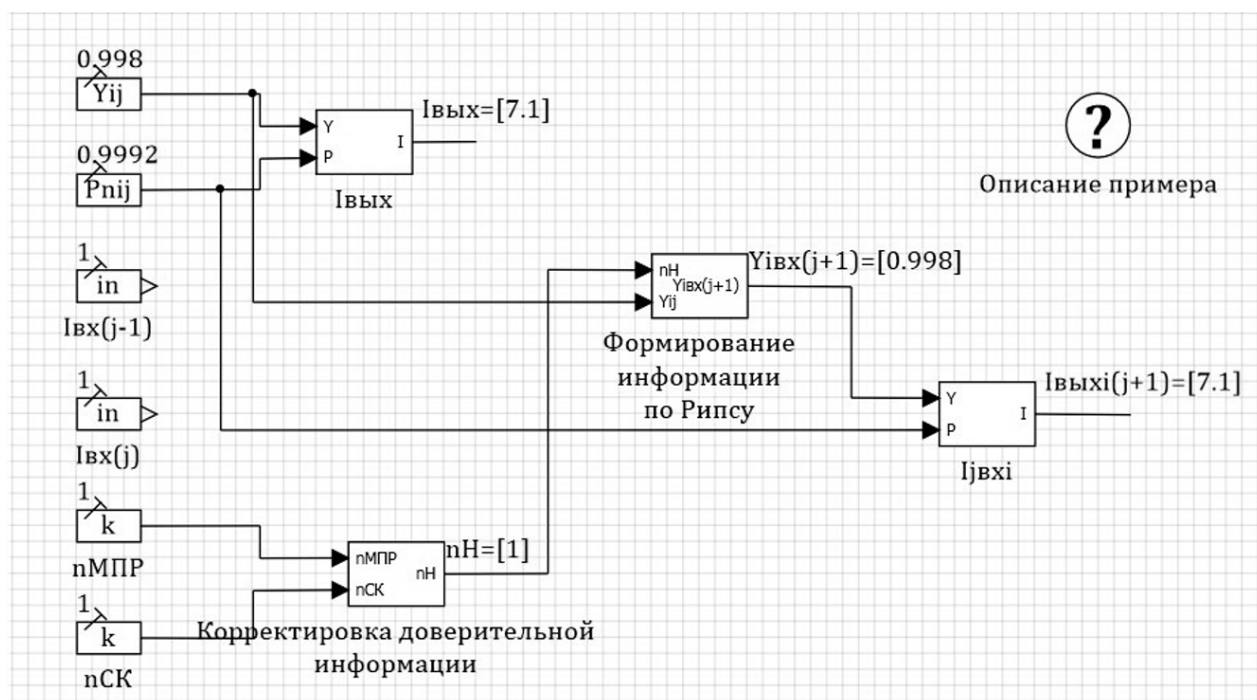


Рис. 5. Диаграмма информационно-функциональной структуры управления проектными рисками, построенная в системе SimInTech

ных разработок изделий военного назначения, а также при формировании вариантов сценариев выполнения НИОКР. Внедрение предлагаемых принципов проектирования позволит минимизировать риски и суммарные затраты на создание образца изделия военного назначения при выполнении ограничений на значения системных параметров с заданной доверительной вероятностью за заданные сроки.

Литература

1. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. СПб: БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. 2018. 570 с.
2. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М. и др. Обеспечение контракта жизненного цикла изделий военного назначения. — Старый Оскол: ТНТ. 2021. 368 с.
3. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Оценка технических рисков (надежности) изделий авиакосмической техники в процессе проектирования и отработки // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2019. № 4. С. 107–114.
4. Игнатенко В.В., Павлушкин Р.В. и др. Повышение качества и минимизация рисков систем оружия на основе информационно-системной и эвентологической методологии // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 11–12 (101–102). С. 123–130.
5. Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А., Чернышов М.В. Минимизация рисков космических аппаратов с крупногабаритными трансформируемыми бортовыми рефлекторами на основе информационно-системной методологии // Известия РАН. 2018. № 4 (104). С. 81–87.
6. Доронин В.В. Проблемы оценки качества отработки опытных образцов ракетной техники в натурных экспериментах этапа конструкторских испытаний и пути их преодоления // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2018. № 2. С. 35–52.
7. Катулев А.Н., Северцев Н.А. Математические методы в системах поддержки принятия решений. — М.: Высшая школа. 2005. 312 с.
8. Кравченко А.Ю., Судов Е.В., Артеменко В.Б. Модель системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки // Вооружение и экономика. 2017. № 2 (39). С. 33–42.
9. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах. — М.: Высшая школа. 2002. 544 с.
10. Плетнев И.Л., Рембеза А.И., Соколов Ю.А., Чалый-Прилуцкий В.А. Эффективность и надежность сложных систем. — М.: Машиностроение. 1977. 216 с.
11. Анастасиади Г.П., Сильников М.В. Технологический контроль в управлении качеством промышленной продукции // Правовое поле современной экономики. 2015. № 8. С. 104–108.
12. Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. Управление качеством промышленной продукции. — СПб.: Наука. 2014. 412 с.