

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Мартынец Е.Р.¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, katya_martinets@inbox.ru

Ключевые слова: технология цифровых двойников, разработка, стоимость, длительность, натурные испытания, эффективность, изделие, промышленность

В целях соблюдения требований к длительности и стоимости процессов разработки, выполнения требований к изделию, соблюдения оптимальности трудовых ресурсов целесообразно выявление требований к процессам разработки с позиции обеспеченности ресурсами и с позиции эффектов, ожидаемых по результатам разработки. Технология цифровых двойников – предлагаемый к внедрению инструмент, который не только обеспечивает ряд преимуществ, обозначенных в материалах [1], но и способствует совершенствованию процесса разработки.

Показатели длительности (1), стоимости (2), трудоемкости (3), удовлетворенности требованиям к разработке (4, 5) и удовлетворенности требованиям к изделию раскрыты через качественное и количественное (математическое) описание в табл. 1. Пояснения к представленным элементам и показателям методики приведены в работах автора [2–13].

Табл. 1. Описание показателей методики совершенствования процесса разработки с применением технологии цифровых двойников

Описание показателя	Математическая модель оценки показателя
<i>Длительность процесса разработки</i>	
Показатель раскрывает длительность каждого этапа разработки с применением цифрового двойника. Этапы подробно представлены в процессной модели [6; 9]. Минимизация длительности возможна за счет минимизации количества изменений, опытных образцов и проводимых натурных испытаний изделия, а также за счет повышения количества цифровых испытаний.	$t_{\text{цд}} = t^{1-\text{цд}} + t^{2-\text{цд}} +$ $+ \sum_{j=1}^{M_{\text{тест}}} \left(\sum_{k=1}^{M_{\text{им}}} (t_{\text{жк}}^{3-\text{цд}} + t_{\text{жк}}^{4-\text{цд}}) + t_j^{5-\text{цд}} + t_j^{6-\text{цд}} + t_j^{7-\text{цд}} + t_j^{8-\text{цд}} + t_j^{9-\text{цд}} \right) +$ $+ t^{10-\text{цд}} + \varepsilon \rightarrow \min$ (1) при $M_{\text{тест}} \rightarrow \min, M_{\text{им}} \rightarrow \text{opt}$
<i>Стоимость процесса разработки</i>	
Показатель раскрывает статьи затрат, возникающих в процессе создания и применения цифрового двойника изделия. Экономия возможна за счет снижения числа натурных испытаний. Эффект от развертывания технологии с позиции стоимости наглядно представлен в материалах [10; 11].	$S_{\text{цд}} = S_{\text{общ}}^{\text{comp}} + \sum_{z=1}^Z (S_z^{\text{ПО}} N_z^{\text{PM}}) +$ $+ \sum_{j=1, u=1}^{M_{\text{тест}}, U} S_{j-u}^{\text{обп}} + S^{\text{серт}} + S^{\text{НИИР}} + S^{\text{проч}} \rightarrow \min$ (2)
<i>Трудоемкость процесса разработки</i>	
Показатель раскрывает трудозатраты, понесенные в ходе разработки цифрового двойника и проведения испытаний изделия – оценивается вклад инженеров, руководителей, рабочих и инженеров-испытателей. Трудоемкость стремится к оптимальному значению за счет минимизации процессов передачи данных с помощью платформенных решений, оптимизации состава инженеров и системного инжиниринга [2; 3].	$L = \sum_{c=1}^C L_c^{\text{конст}} + \sum_{p=1}^P L_p^{\text{техн}} + \sum_{e=1}^E L_e^{\text{расч}} + \sum_{se=1}^{SE} L_{se}^{\text{СИ}} + \sum_{h=1}^H L_h^{\text{рук}} +$ $+ \sum_{a=1}^A L_a^{\text{проект}} + \sum_{d=1}^D L_d^{\text{прог}} + \sum_{w=1, j=1}^{W, M_{\text{тест}}} L_{w-j}^{\text{опыт}} + \sum_{x=1, j=1}^{X, M_{\text{тест}}} L_{x-j}^{\text{исп}} \rightarrow \text{opt}$ (3)
<i>Удовлетворение требованиям процесса разработки</i>	
Показатель раскрывает два направления – удовлетворенность требованиям, описывающим необходимые ресурсы и инструменты, и удовлетворенность требованиям, оценивающим эффективность и качество полученных результатов процесса разработки. Оценка проводится с	$УТР^{\text{РО}} = \sum_{r=1}^R УТР_r^{\text{РО}} \rightarrow \max$ (4)
	$УТР^{\text{ЭК}} = \sum_{q=1}^Q УТР_q^{\text{ЭК}} \rightarrow \max$ (5)

применением квалиметрических методов, максимизация значения реализуется при условии внедрения инструментов и ресурсов, таких как технология цифровых двойников, высококвалифицированный персонал, платформа управления результатами моделирования, системный инжиниринг и др. [2; 3; 13]	
<i>Удовлетворение требованиям технического задания</i>	
Показатель раскрывает степень удовлетворенности требованиям к изделию, зафиксированным в техническом задании и, шире, декомпозированным на целевые показатели. Многоуровневость требований и взаимозависимость отдельных показателей требуют балансировки матрицы требований за счет сопоставления с эталонным значением. Подробнее о балансировке представлено в работах [3–5; 8].	$\Delta UT3 = \sum_{f=1, g=1, y=1}^{F, f-G, f-g-Y} (V_{f-g-y} (O_{f-g-y} - O_{f-g-y}^2)) \rightarrow \min \quad (6)$

Предлагаемая методика сфокусирована на 5 показателях эффективности (см. рис. 1).



Рис. 1 – Ключевые показатели эффективности процесса разработки изделий машиностроения (источник: разработано автором)

Представленная методика обеспечивает оценку показателей эффективности процесса разработки, выявление критически важных областей и процессов, влияющих на достижение эффективности, и формирование планов развития машиностроительных предприятий с применением цифровых двойников.

Список литературы

1. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / А.И. Боровков [и др.]; ред. А.И. Боровков. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 492 с.
2. Мартынец Е.Р. Совершенствование процесса разработки изделий с применением цифровых двойников // Актуальные проблемы менеджмента качества, стандартизации и метрологии: Сборник докладов. 2025. С. 206-209.
3. Мартынец Е.Р. Методика совершенствования процесса проектирования с применением технологии разработки цифрового двойника // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. № 3 (в печати).
4. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Система комплексных технологических решений с применением цифровых двойников производства // Горизонты экономики. 2022. № 6 (72). С. 68-74.
5. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Универсальная матрица требований, целевых показателей и ресурсных ограничений при проектировании наукоемкого

производства // Передовые производственные технологии: компьютерные (суперкомпьютерные) технологии и организация наукоемких производств: Сборник тезисов докладов научно-практической конференции с международным участием. 2022. С. 111-119.

6. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Процессная модель технической подготовки производства с фокусировкой на технологии цифровых двойников // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2024. № 1. С. 72-78.

7. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Цифровые двойники изделий как инструмент обеспечения качества на стадии разработки // Управление инновациями в условиях цифровой трансформации: сборник научных трудов III Всероссийской студенческой учебно-научной конференции, Санкт-Петербург. 2024. С. 286-290.

8. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Математическая модель уравнивания матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений при использовании технологии «цифровых двойников» на наукоемких производствах // Устойчивое развитие. Мировые вызовы: материалы конференции Санкт-Петербургского международного экономического форума на базе СПбПУ. 2021. С. 60-61.

9. Мартынец Е.Р., Корниенко А.В., Левенцов В.А. Математическая модель длительности процесса разработки в соответствии с процессной моделью технической подготовки производства с применением технологии цифровых двойников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2025. № 3 (в печати).

10. Мартынец Е.Р., Левенцов В.А. Разработка наукоемкой продукции с применением технологии цифровых двойников // Устойчивое развитие цифровой экономики, промышленности и инновационных систем. 2020. С. 631-634.

11. Мартынец Е.Р., Левенцов В.А. Эффективность применения технологии разработки цифровых двойников в промышленности // Качество образования и устойчивое развитие – основа международного сотрудничества: Материалы конференции СПбПУ в рамках программы Петербургского Международного экономического форума. 2024. С. 281-287.

12. Мартынец Е.Р., Левенцов В.А. Алгоритм совершенствования процесса проектирования изделий с применением цифровых двойников // Управление качеством продукции на основе передовых производственных технологий. 2024. С. 99-103.

13. Мартынец Е.Р., Левенцов В.А. Факторы повышения качества наукоемкой продукции с применением передовых производственных технологий // Управление качеством продукции на основе передовых производственных технологий. 2023. С. 12-17.

Сведения об авторах

Мартынец Екатерина Романовна, аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, ведущий специалист отдела технологического и промышленного форсайта Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг»; область интересов – разработка изделий машиностроения, конструкторская подготовка производства, управление качеством, цифровой инжиниринг, цифровые двойники изделий, передовые производственные технологии.

METHODOLOGY FOR IMPROVING THE PROCESS OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCT DEVELOPMENT

Martynets E.R.¹

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, katya_martynets@inbox.ru

The methodology for product development process improving contains 5 performance indicators for the digital twins implementation. The indicators include compliance with the requirements of duration, cost, labor intensity, and final satisfaction of product requirements