

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

К.С. Самсонов
А.В. Севрюкова
А.Р. Салахатдинова
А.С. Проваторов

sams1@bk.ru
alexandra.sevryukova@gmail.com
ladyxray@mail.ru
sanru41@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Представлено решение актуальной задачи выбора контрольно-диагностических средств, в том числе на основе технико-экономических показателей. С феноменологической позиции проанализированы возможности функциональной конкретизации массива соотношений, представляющих собой зависимости разрешающей способности от технологической себестоимости реализации. Для наглядного представления алгоритма оптимизации согласно модели рассматривается условный пример определения экономически рационального и оптимального числа контрольно-диагностических средств. На условном примере показана возможность достижения необходимого уровня надежности отдельного контрольно-технологического элемента общего маршрута изготовления изделия путем реализации трехкратного анализа качества и парирования последствий появления возможного брака в ходе выполнения рассматриваемой технологической операции.

Ключевые слова

Технические инновации, контрольно-диагностические средства, система автоматизированного проектирования

Поступила в редакцию 10.04.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Для ракетно-космической техники характерной особенностью является обеспечение высокой надежности. В связи с этим особо остро стоит проблема обеспечения надлежащего качества, как отдельных деталей, так и продукции в целом. В то же время, не стоит забывать о высокой стоимости изделий и конкуренции, что влечет за собой попытки производителей, как можно более полно использовать возможности и ресурс ряда ответственных деталей.

Кафедра «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с Центром гидрофизических исследований физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова проводит работы по созданию новых контрольно-диагностических (КДИ) средств, основанных на использовании технических инноваций (ТИ), в частности потоков высоких энергий для оценки физико-механических характеристик материалов и изделий. Одним из примеров является перспективный экспресс-метод контроля и диагностики эксплуатационных технологических параметров качества — метод ультраструйной диагностики [1–10]. Существует актуальная задача, связанная с вопросами выбора

тех или иных КДИ, в том числе на основе технико-экономических показателей [11]. Решение этой задачи требует разработки соответствующих математических моделей оценки КДИ по критерию технико-экономической оптимизации [12]. Для этого необходимо знать взаимосвязи между разрешающей способностью (эффективностью) конкретного КДИ и ее технологической себестоимостью, которую рассчитаем по формуле

$$C_{ki} = f(P_{ki})$$

или

$$P_{ki} = F(C_{ki}), \quad (1)$$

где C_{ki} — технологическая себестоимость i -й КДИ операции, выраженная как функция f от вероятности безотказного функционирования, имеющей вероятность безотказного функционирования P_{ki} , или вероятность безотказного функционирования i -го диагностического средства (P_{ki}) как функция F от технологической себестоимости.

С феноменологических позиций проанализируем возможность функциональной конкретизации массива соотношений типа (1), представляющих собой зависимости разрешающей способности КДИ операций от технологической себестоимости их реализации.

Подчеркнем, что именно формирование соответствующей базы данных по массиву функций вида (1) представляет собой весьма емкую научно-прикладную проблему экономической диагностики. Решение этой задачи позволяет целенаправленно подойти к созданию высокоэффективных систем автоматизированного проектирования КДИ операций (САПР), как ключевого элемента обобщенной структуры СALS-технологий. Данное обстоятельство особенно важно при создании новых изделий ответственного назначения в условиях определенного кадрового дефицита высококвалифицированных специалистов соответствующего профиля на предприятиях ведущих отраслей промышленности, в том числе оборонного назначения.

Исходя из логики рассматриваемой задачи, можно вполне обоснованно предположить, что функциональная зависимость разрешающих возможностей конкретной КДИ операции от технологической себестоимости будет иметь вид, представленный на рис. 1. Рассмотрим подробнее принятые обозначения.

Функционально-асимптотическая зависимость $C_k = f(P_k)$ в области практически значимых уровней $P_n \leq P_k \leq P_{\Pi} \approx 1,0$. Зона «В» — зона высоких значений, где P_n — начальный уровень значимого разрешения КДИ операции; $P_{\Pi} \sim 1,0$ — предельный уровень разрешения этой операции.

Зависимость $C_k = f(P_k)$ в области невысоких значений разрешения КДИ операций. Зона «Н» — зона низкого уровня P_k .

Технико-экономическая характеристика конкретной КДИ операции получена на основе статистических данных расчетно-аналитическим путем.

Иллюстрация смены контрольно-диагностической и/или испытательной картины физико-технологического обеспечения качества.

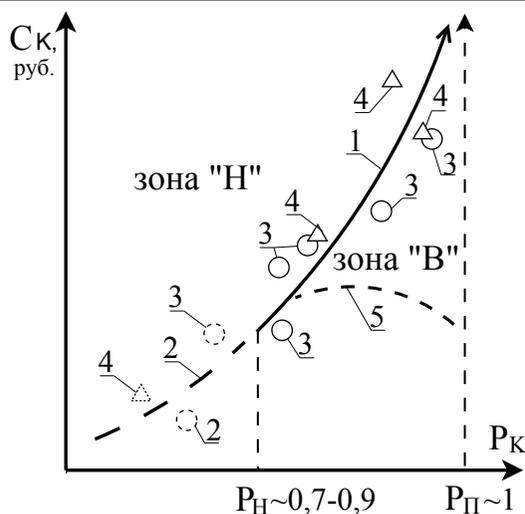


Рис. 1. Функциональная зависимость эффективности КДИ от технологической себестоимости

Прокомментируем некоторые практически значимые позиции (см. рис. 1), представляющие определенный научный интерес.

Реальный производственный интерес представляет собой зависимость 1 на участке $P_H \leq P_K \leq P_П \approx 1,0$, так как при $P_K < P_H$ организационные затраты на осуществление низкоэффективных КДИ операций не соответствуют их ожидаемой функциональной результативности. Однако зависимость 2 может быть весьма полезна при формировании обобщенных функций вида (1) для осуществления процедуры технико-экономической оптимизации по уравнению:

$$\frac{\partial C}{\partial i} = 0 \rightarrow n_{opt};$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial i^2} > 0, \quad (2)$$

где C — целевая (оптимизационная) функция; i — оптимизационно-варьируемый параметр; n_{opt} — экономически оптимальное количество КДИ.

Необходимо учитывать, что позиции 1 и 2 (см. рис. 1) фактически означают различные КДИ операции, основанные на индивидуально-физических процессах и/или явлениях, обеспечивающих получение необходимой информации о параметрах состояния объекта анализа, в частности рассматриваемой технологической операции. В принципе эти позиции могут означать существенную модернизацию известной КДИ операции с целью повышения ее функциональных возможностей при разумном росте технологической себестоимости.

В случае если при использовании информационно-диагностических возможностей новых физических процессов и/или явлений характер зависимости 1 не является асимптотическим, то основанная на них КДИ операция должна быть без-

альтернативно включена в маршрут изготовления изделия. Действительно, если при росте P_k имеет место постоянство или даже снижение C_k , то задача технико-экономической оптимизации сводится только к рациональному анализу эффекта от использования данной информационно-физической инновации. В методологическом отношении отмеченное обстоятельство означает смену контрольно-диагностической и/или испытательной картины, как функционально-производственного фильтра технологического качества объекта анализа и представляет наибольший научно-практический интерес. Схематично это положение отражает линия 5 (см. рис. 1), иллюстрирующая технико-экономический результат использования новых физических принципов построения КДИ.

В качестве характерных примеров математической формализации функции $C_k = f(P_k)$ приведем следующие выражения, удовлетворяющие феноменологическим требованиям вида типовой зависимости C_k от P_k . Помимо традиционной полиномиальной аппроксимации позиций 3, 4 (см. рис. 1) заслуживает внимания экспоненциальная зависимость вида:

$$C_k = C_0 \exp \left[\alpha \left(\frac{P_k}{1 - P_k} \right) - 1 \right], \quad (3)$$

где C_k — технологическая себестоимость КДИ операции при P_k уровне ее надежности; C_0 — масштабирующий стоимостной коэффициент рассматриваемой зависимости $C_k(P_k)$, имеющий размерность (руб.); α — коэффициент интенсивности изменения функции $C_k(P_k)$. Кроме того можно воспользоваться более простым, но менее гибким соотношением вида:

$$C_k = C_0 \frac{P_k}{1 - P_k}. \quad (4)$$

Функционально-достаточный массив выражений типа (3) или (4), а также аналогичных соотношений замыкают модель оптимизации (2), которая позволяет определить количество КДИ операций по критерию минимума технологической себестоимости структурного контрольно-технологического операционного элемента [13, 14], представленного на рис. 2.

Для наглядного представления алгоритма оптимизации согласно модели (2), рассмотрим условный пример определения экономически рационального числа КДИ. Допустим, что в области предположительно-оптимального значения n_{opt} функции вида (3) или (4) можно заменить линейной зависимостью:

$$C_k = C_0(1 + \alpha P_k). \quad (5)$$

Кроме того для определенности, предположим также, что функциональные параметры проектируемых КДИ операций равны между собой:

$$P_{ki} \approx \text{const} \text{ при } i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

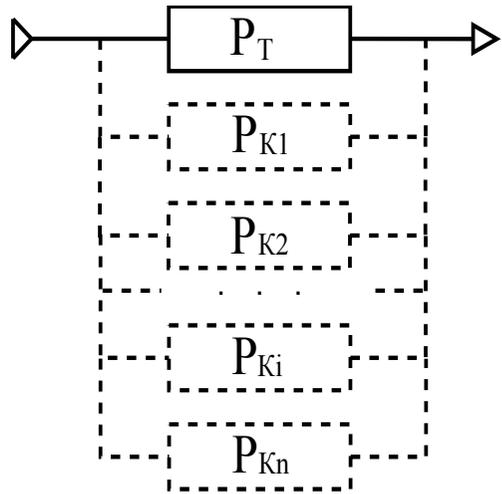


Рис. 2. Использование нескольких КДИ операций малой разрешающей способности и низкой стоимости реализации:

P_T — вероятность выполнения части технологического маршрута или технологической операции без брака; P_K — вероятность обнаружения брака на КДИ операции; $i = 1, 2, \dots$; n — общее число КДИ операций по обеспечению требуемого техническим заданием уровня надёжности технологии

После преобразований, получим следующие исходные соотношения между анализируемыми параметрами контрольно-технологического операционного элемента (см. рис. 2):

$$P_K = 1 - i \sqrt{\frac{1 - P_{T3}}{1 - P_T}} . \tag{7}$$

$$C = C_T + iC_0(1 + \alpha P_K) . \tag{8}$$

Для численного решения (2) с учетом (7) и (8) предположим, что $P_T = 0,5$, то есть надёжность технологической операции невысока; $P_{T3} = 0,995$, что соответствует среднему уровню итоговой надёжности; $\alpha \sim 2$, то есть имеет место умеренный рост C_K в области n_{opt} . Тогда, опуская промежуточные вычисления, получим, что экономически оптимальное число КДИ операций при данном низком уровне надёжности основной операционной технологии составит:

$$i \approx 3 \rightarrow n_{opt} . \tag{9}$$

При этом требуемый уровень надёжности КДИ операции должен быть согласно (7) не ниже $P_K \geq 0,7$, что вполне соответствует техническим возможностям современных информационно-физических методов оценки параметров состояния объекта анализа. Таким образом, в рассмотренном условном примере показана возможность достижения требуемого уровня надёжности отдельного контрольно-технологического элемента общего маршрута изготовления изделия путем реализации трехкратного анализа его качества и парирования последствий появления возможного брака в ходе выполнения рассматриваемой технологической операции. Причем именно это количество КДИ операций обеспечит минимальную себестоимость данного контрольно-технологического элемента в общей структуре производства конкретного изделия. Аналогичная

ситуация может иметь место при обеспечении требуемой эксплуатационной надежности изделий ответственного назначения. В частности известны случаи многократного дублирования различных контрольно-диагностических сенсоров параметров состояния объекта контроля в конструкциях авиационной и ракетно-космической техники, например датчиков давления в двигателях ракет-носителей тяжелого класса.

Литература

- [1] Барзов А.А., Галиновский А.Л., Кузнецов И.Е. Области применения ультраструйной диагностики и контроля качества изделий. *Вестник УГАТУ*, 2009, № 4, с. 121–126.
- [2] Барзов А.А., Галиновский А.Л., Сальников С.К. Анализ влияния и оптимизации кинематического фактора ультраструйной обработки. *Вестник ИжГТУ*, 2008, № 3(39), с. 4–76.
- [3] Барзов А.А., Галиновский А.Л., Сальников С.К., Елфимов В.М. Повышение результативности ультраструйной обработки путем оптимизации кинематического фактора. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2010, спец. вып., с. 217–228.
- [4] Тарасов В.А., Галиновский А.Л., Ефимов В.М. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2011, № 4, с. 46–53.
- [5] Барзов А.А., Сальников С.В., Галиновский А.Л. Кинематический фактор ультраструйной обработки материалов и жидкостей. *Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики: Тр. XXXII академических чтений по космонавтике*. Москва, Комиссия РАН, 2008, с. 514–515.
- [6] Галиновский А.Л., Сальников С.К., Сулова А.Г., ред. Анализ влияния и оптимизации кинематического фактора на повышение эффективности ультраструйной обработки. *Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: материалы 6-й международной научно-технической конференции*. Брянск, БГТУ, 2008, с. 285–286.
- [7] Барзов А.А., Сальников С.К., Галиновский А.Л. Модель влияния кинематического фактора на эффективность ультраструйной обработки. *Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции*. Оренбург, ИПК ГОУ ОГУ, 2007, с. 108–110.
- [8] Галиновский А.Л., Елфимов В.М., Сальников С.К., Сысоев Н.Н. Техно-экономическая оптимизация технологических параметров гидрорезания. *Физическая гидродинамика*, выпуск 20, препринт № 9/2007. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. 31 с.
- [9] Галиновский А.Л., Петухов Е.Н., Сальников С.К., Харитонов В.Н. Применение гидроструйной технологии для утилизации авиационной и космической техники. *Оборонная техника*, 2002, № 11, с. 84–86.
- [10] Галиновский А.Л., Сальников С.К., Сайфутдинов Р.Р., Чорный И.Н., Новожилов С.А., Медведева А.К., ред. Ультраструйная технология обработки и диагностикерамических и композиционных материалов. *Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики: Тр. XXXIV академических чтений по космонавтике*. Москва, Комиссия РАН, 2010, с. 558–559.
- [11] Абашин М.И., Барзов А.А., Галиновский А.Л., Моисеев В.А. Техно-экономическое обоснование выполнения контрольно-диагностических операций. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2015, № 1, с. 133–139.

- [12] Галиновский А.Л. Анализ инновационного потенциала ультраструйных технологий в оборонных отраслях промышленности. *Оборонная техника*, 2008, № 6, с. 54–59.
- [13] Самсонов К.С., Севрюкова А.В., Кузнецова Т.И. Повышение эффективности системы контроля над созданием инновационных материалов. *Гуманитарный вестник*, 2016, № 10(48). URL: <http://hmbul.ru/catalog/ecoleg/econom/390.html>.
- [14] Самсонов К.С., Севрюкова А.В., Полуянова Е.В., Ширшов Я.Н. Обеспечение контрольно-диагностических операций с учётом достижения технико-экономических показателей. *Молодёжный научно-технический вестник*, 2016, № 6. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/841021.html>.

Самсонов Кирилл Сергеевич — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Севрюкова Александра Владимировна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Салахатдинова Алиса Ринатовна — аспирантка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Проваторов Александр Сергеевич — аспирант кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.А. Барзов, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Центра гидрофизических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация.

SYSTEM IMPLEMENTATION OF COMPUTER-AIDED DESIGN OF CONTROL-DIAGNOSTIC AND TEST OPERATIONS

K.S. Samsonov

A.V. Sevryukova

A.R. Salakhatdinova

A.S. Provatorov

sams1@bk.ru

alexandra.sevryukova@gmail.com

ladyxray@mail.ru

sanru41@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article focuses on the crucial problem of choosing control-diagnostic tools, including technical and economic indicators. From the phenomenological standpoint, we analyze the capabilities of functional instantiation of the relationships array representing the dependencies of the resolving power on the technological production cost. To visually represent the optimization algorithm according to the model, we consider a conditional example of determining the economically rational and optimal number of control and diagnostic tools. The conditional example shows the possibility of achieving the required level of reliability of an individual control and technological element of the general product manufacturing route by implementing a three-fold quality analysis and parrying the consequences of a possible rejection during the technological operation under consideration.

Keywords

Technical innovations, control and diagnostic tools, computer-aided design

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Kuznetsov I.E. Prospects of applications of ultrajet diagnosis and quality control of items. *Vestnik UGATU*, 2009, no. 4, pp. 121–126.
- [2] Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Sal'nikov S.K. The analysis of ultra jet machining kinematic factor effect and optimization. *Vestnik IzhGTU*, 2008, no. 3(39), pp. 4–76.
- [3] Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Sal'nikov S.K., Elfimov V.M. Efficiency enhancing of ultrajet treatment by means of kinematic factor optimization. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering], 2010, spec. iss., pp. 217–228.
- [4] Tarasov V.A., Galinovskiy A.L., Efimov V.M. Minimization of technological cost price of hydroabrasive cutting taking into account cost and technological parameters of cutting. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2011, no. 4, pp. 46–53.
- [5] Barzov A.A., Sal'nikov S.V., Galinovskiy A.L. Kinematcheskiy faktor ul'trastruynoy obrabotki materialov i zhidkostey. [Kinematic factor of materials and liquids ultrajet treatment]. *Aktual'nye problemy razvitiya otechestvennoy kosmonavtiki: Trudy XXXII akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [Actual problems of native cosmonautics devel-

- opment: proc. XXXII academic readings on cosmonautics]. Moscow, Komissiya RAN publ., 2008, pp. 514–515.
- [6] Galinovskiy A.L., Sal'nikov S.K., Suslova A.G., eds. Analiz vliyaniya i optimizatsii kinematicheskogo faktora na povyshenie effektivnosti ul'trastruynoy obrabotki [Effect and optimization analysis on increasing ultra-jet treatment kinetic factor]. *Problemy kachestva mashin i ikh konkurentosposobnosti: materialy 6-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Machine quality and competitiveness problems: proc. 6th int. sci.-tech. conf.]. Bryansk, BSTU publ., 2008, pp. 285–286.
- [7] Barzov A.A., Sal'nikov S.K., Galinovskiy A.L. Model' vliyaniya kinematicheskogo faktora na effektivnost' ul'trastruynoy obrabotki [Model of kinematic factor impact on ultra-jet treatment efficiency]. *Komp'yuternaya integratsiya proizvodstva i IPI-tehnologii. Sbornik materialov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Production computer integration and CALS technologies. Proc. Russ. sci.-practice conf.]. Orenburg, IPK GOU OGU publ., 2007, pp. 108–110.
- [8] Galinovskiy A.L., Elfimov V.M., Sal'nikov S.K., Sysoev N.N. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov gidrorezaniya [Technical-and-economic optimization of hydrocutting technological parameters]. *Fizicheskaya gidrodinamika* [Physical hydrodynamics], iss. 20, preprint no. 9/2007. Moscow, Lomonosov MSU publ., 2007. 31 p.
- [9] Galinovskiy A.L., Petukhov E.N., Sal'nikov S.K., Kharitonov V.N. Using hydrojet technology for aircraft and space technique utilization. *Oboronnaya tekhnika*, 2002, no. 11, pp. 84–86.
- [10] Galinovskiy A.L., Sal'nikov S.K., Sayfutdinov R.R., Chornyy I.N., Novozhilov S.A., Medvedeva A.K., eds. Ul'trastruynaya tekhnologiya obrabotki i diagnostiki keramicheskikh i kompozitsionnykh materialov [Ultra-jet processing and diagnostics technology for ceramics and composites]. *Aktual'nye problemy razvitiya otechestvennoy kosmonavtiki: Trudy XXXIV akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [Actual problems of native cosmonautics development: proc. XXXIV academic readings on cosmonautics]. Moskva, Komissiya RAN publ., 2010, pp. 558–559.
- [11] Abashin M.I., Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Moiseev V.A. Feasibility report of control and diagnostic operations realization. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 133–139.
- [12] Galinovskiy A.L. Innovative capacity analysis of ultra-jet technologies in defense branches of industry. *Oboronnaya tekhnika*, 2008, no. 6, pp. 54–59.
- [13] Samsonov K.S., Sevryukova A.V., Kuznetsova T.I. Increasing the system efficiency of the control over the innovative material development. *Gumanitarnyy vestnik* [Humanities Bulletin], 2016, no. 10(48). Available at: <http://hmbul.ru/catalog/ecoleg/econom/390.html>.
- [14] Samsonov K.S., Sevryukova A.V., Poluyanova E.V., Shirshov Ya.N. Providing control and diagnostic operations taking into account technical-and-economic indexes. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik*, 2016, no. 6. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/841021.html>.

Samsonov K.S. — student, Department of Rocket-and-Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Sevryukova A.V. — student, Department of Rocket-and-Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Salakhatdinova A.R. — post-graduate student, Department of Rocket-and-Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Provatorov A.S. — post-graduate student, Department of Rocket-and-Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Barzov, Dr.Sc. (Eng.), Professor, Leading Research Scientist, Center for Hydrophysical Research, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation.