

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. М. МЕДУНЕЦКИЙ<sup>1</sup>, В. В. НИКОЛАЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: [vm57med@yandex.ru](mailto:vm57med@yandex.ru)

<sup>2</sup>ОАО „Системы управления и приборы“, 194156, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются вопросы функционального анализа, сопоставления и выбора конструктивных технических решений механической системы на примере конструкции автоматического захвата для перегрузки элементов системы управления и защиты ядерного реактора (кластера тепловыделяющей сборки). Предложена методика, основанная на методе экспертных оценок, согласно которой выполнен функциональный анализ используемого в атомной промышленности захвата кластера, выявлены особенности и недостатки его конструкции. Предложено новое конструктивное решение, которое обеспечивает более высокий уровень надежности рассматриваемой системы. Сопоставлены два технических решения для оценки уровня качества рассматриваемых механических устройств.

**Ключевые слова:** методы сопоставления технических решений, метод экспертных оценок, исполнительные устройства, автоматический захват, кластер тепловыделяющей сборки.

Во многих областях техники достаточно широко используются исполнительные механизмы и устройства, совмещенные с приборами. Автоматические, управляющие, исполнительные устройства и механизмы совместно с измерительными приборами образуют техническую базу автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Диапазон современных исполнительных устройств необычайно широк: от микроэлектромеханических систем (МЭМС) [1] и исполнительных устройств для микроперемещений [2] до промышленных робототехнических систем [3], в частности, специализированных подъемно-транспортных систем атомных станций [4].

В применении исполнительных устройств важную роль играет надежность технической системы, которая складывается из безотказности, долговечности, сохраняемости и ремонтпригодности [5]. Во многих случаях на стадиях проектирования механических систем особое внимание уделяется показателям безотказности — вероятности безотказной работы  $P(t)$ , средней наработке до отказа  $T_{ср}$ , средней наработке на отказ  $T_0$  и т.д. [6], которые определяются конструкцией и параметрами разрабатываемого устройства. В связи с этим перед разработчиком часто стоит задача выбора из ряда возможных технических решений проектируемого узла или устройства решения, обладающего требуемым сочетанием характеристик, которые в полной мере соответствуют поставленной задаче и всей совокупности второстепенных требований и ограничений.

Задачу оценки или сопоставления двух и более возможных технических решений, с достаточной степенью достоверности, можно решить с использованием моделирования.

При этом возникает необходимость создания самой модели исследуемых объектов, ее верификации и анализа результатов. К преимуществам моделирования можно отнести, как правило, высокую точность результата и возможность получения численных характеристик, к недостаткам — определенную степень приближения к реальным условиям.

В задачах оценки или сопоставления двух и более возможных решений к альтернативе моделирования можно отнести методы получения оценки на основе профессиональной интуиции и опыта специалистов — экспертов. Методы экспертных оценок получили определенное распространение в менеджменте, они также, хотя и достаточно редко, используются в некоторых областях техники. К преимуществам метода экспертных оценок необходимо отнести гибкость, относительную простоту реализации и достаточно высокую результативность при должной квалификации экспертов, к недостаткам — зависимость результата от квалификации и практического опыта экспертов. Тем не менее, несмотря на характерные для такого подхода ограничения, можно утверждать, что получение адекватной оценки на основе профессиональной интуиции и компетентности специалистов является исходным методом, который целесообразно использовать в инженерной практике.

Необходимо подчеркнуть, что предложенная методика позволяет выбрать оптимальное техническое решение для конкретной технической задачи на основе метода экспертных оценок. Предлагаемая методика была рассмотрена и апробирована на конкретной задаче проектирования нового автоматического устройства: захвата кластера, сопряженного с приборной системой управления машиной для перегрузки элементов (кластеров) и защиты ядерного реактора на АЭС. Захват кластера (ЗК) — механический, с автоматическим управлением [7], обладающий двумя функциональными состояниями; он работает по четырехтактному циклу и обеспечивает операции сцепления и расцепления с кластерами под слоем воды.

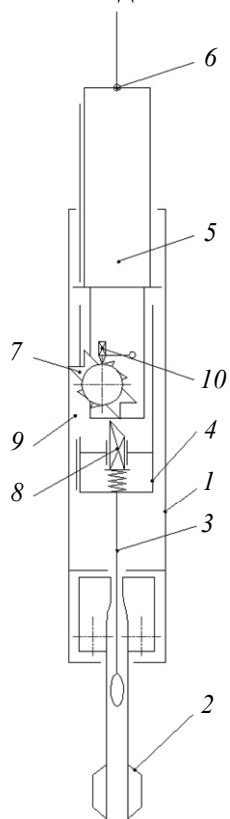


Рис. 1

Принципиальная схема захвата кластера представлена на рис. 1. Захватываемыми элементами в конструкции захвата кластера являются две клещевины 2, обеспечивающие сцепление с внутренней проточкой траверсы кластера. Клеши раздвигаются, поворачиваясь вокруг своих осей, за счет взаимодействия со штоком 3, который осуществляет возвратно-поступательное движение. Шток закреплен в гнезде стакана 4, который, как и ползун 5, смонтирован в корпусе 1 с возможностью осевого перемещения. Четырехлучевая звездочка 7, установленная на оси, поворачивается за счет подпружиненного управляющего упора 8 и позволяет сцепляться и расцепляться между собой двум подвижным элементам — стакану 4 и ползуну 5. Поворот звездочки 7 всегда осуществляется только в одну сторону за счет последовательного взаимодействия с упором 8 и окном 9, выполненным в стакане 4. Вращение звездочки в обратном направлении исключает фиксатор 10. В зависимости от положения звездочки 7 относительно ползуна 5 стакан 4 вместе со штоком 3 может занимать либо крайнее верхнее положение, соответствующее открытому состоянию захвата, либо крайнее нижнее, соответствующее закрытому состоянию. Подобные схемы реализации автоматических захватов хорошо известны в технике [4, 7].

Для оценки безотказности как наиболее значимого показателя надежности элемента, важного для безопасности транспортно-технологических операций, можно рассмотреть имеющуюся конструкцию захвата кластера по предлагаемой методике, которая заключается в следующем. Производится условное разбиение по функциональным признакам устройства на составные части (рис. 2). Далее выявляются элементы и их взаимосвязи, которые обеспечи-

вают выполнение требуемых функций каждого блока изделия, и определяется совокупность признаков, по которым осуществляется оценка экспертами.

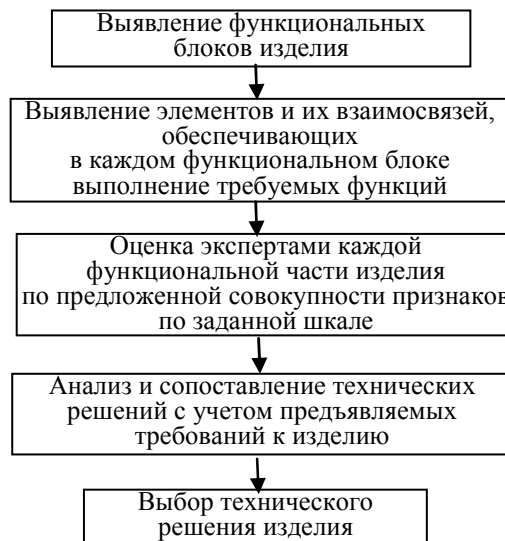


Рис. 2

Рассмотрим функциональную схему конструкции захвата кластера (рис. 3). В первом функциональном блоке захвата кластера управляющая команда системы управления поступает на накопитель энергии захвата кластера. В качестве накопителя энергии используется масса ползуна 5 (см. рис. 1), который за счет собственного веса обеспечивает смену состояния захвата при его посадке на траверсу кластера. Второй функциональный блок, который обеспечивает смену состояния захвата кластера, содержит стакан 4, звездочку 7, упор 8, фиксатор 10 и также ползун 5. Третий функциональный блок, отвечающий за управление захватываемыми элементами клещевины 2, представлен штоком 3 и стаканом 4.

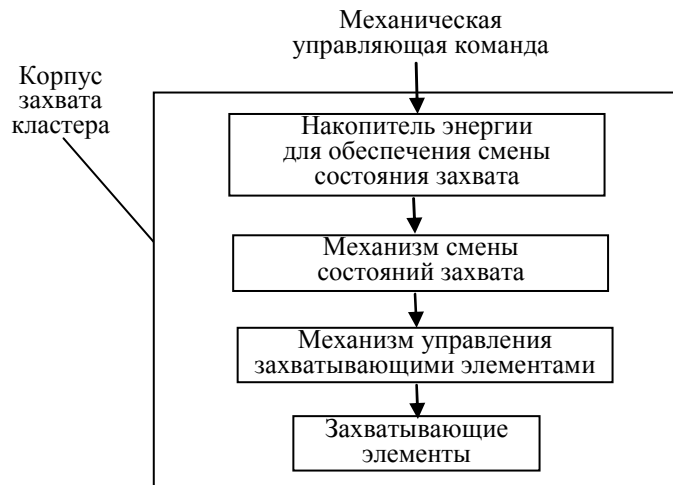


Рис. 3

С точки зрения безотказности работы рассматриваемой конструкции ключевым является механизм смены состояния захвата кластера.

В рассматриваемом устройстве смену состояния захвата обеспечивает сцепление-расцепление двух подвижных узлов. Функциональный анализ показал, что надежность функционирования устройства определяется гарантированным поворотом звездочки 7. Использование в устройстве смены состояний звездочки (см. рис. 1) существенно повышает чувствительность механизма смены состояний захвата кластера к загрязнению и соответственно изменению коэффициента трения скольжения подвижных деталей, что приводит к снижению безотказности работы устройства в целом.

Проведенный функциональный анализ исходной конструкции захвата кластера позволил выявить „слабые места“ и показал возможность выполнения захвата кластера по другой конструктивной схеме, которая позволит повысить уровень надежности этой механической системы. В результате была предложена конструкция с измененной схемой построения захвата кластера, которая имеет более высокий уровень безотказности работы (рис. 4). Смена состояний захвата кластера осуществляется за счет одностороннего вращения ползуна 4, закрепленного посредством штока 9 на утяжелителе 5, вокруг продольной оси при возвратно-поступательном движении утяжелителя относительно корпуса 1 в процессе посадки на траверсу кластера и последующего подъема. В каждом цикле возвратно-поступательного движения происходит поворот ползуна и связанной с ним посредством штока 3 поворотной втулки 2 на 90°. Одностороннее вращение ползуна 4 обеспечивается за счет взаимодействия с пальцами 8 направляющих пазов 7, имеющих специальную форму.

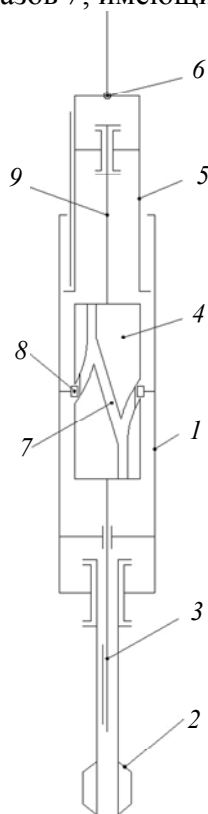


Рис. 4

Таким образом, по предложенной методике на основании функционального анализа и сопоставления двух технических решений определено, что модифицированная [8] конструкция захвата кластера обладает более высоким уровнем надежности, это подтверждает целесообразность использования методики на этапах проектирования систем, обеспечивающих безопасность транспортно-технологических операций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтаков Ф. Ф., Борзяк Н. Г., Кортунюв В. И. Микроэлектромеханические устройства в радиотехнике и системах телекоммуникаций. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т „Харьк. авиац. ин-т“, 2006. 82 с.
2. Бобцов А. А., Бойков В. И., Быстров С. В., Григорьев В. В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. 131 с.
3. Исполнительные устройства мехатронных систем/роботов [Электронный ресурс]: <[http://ru.wikiversity.org/wiki/Исполнительные\\_устройства\\_мехатронных\\_систем/роботов](http://ru.wikiversity.org/wiki/Исполнительные_устройства_мехатронных_систем/роботов)>.

4. Панасенко Н. Н., Божко С. Г. Сейсмостойкие подъемно-транспортные машины атомных станций. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1987. 208 с.
5. Матвеевский В. Р. Надежность технических систем. М.: Московский гос. ин-т электроники и математики, 2002. 113 с.
6. Показатели надежности [Электронный ресурс]: <[https://ru.wikipedia.org/wiki/Показатели\\_надежности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Показатели_надежности)>.
7. Вайнсон А. А., Андреев А. Ф. Крановые грузозахватные устройства: Справочник. М.: Машиностроение, 1982. 304 с.
8. Пат. 2011.000652 РФ. Захват кластера тепловыделяющих сборок реактора / В. В. Николаев, Е. В. Ерасов. 29.03.2012.

**Сведения об авторах**

- Виктор Михайлович Медунецкий** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Вячеслав Викторович Николаев** — ОАО „Системы управления и приборы“; главный конструктор; E-mail: mak5@inbox.ru

Рекомендована кафедрой  
технологии приборостроения

Поступила в редакцию  
22.01.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Медунецкий В. М., Николаев В. В. Функциональный анализ и выбор технических решений механических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 8. С. 659—663.

**FUNCTIONAL ANALYSIS AND SELECTION OF ENGINEERING SOLUTIONS  
FOR MECHANICAL SYSTEMS****V. M. Medunetskiy<sup>1</sup>, V. V. Nikolaev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: vm57med@yandex.ru

<sup>2</sup>JSC Control Systems and Instruments, 194156, Saint Petersburg, Russia

The problems of comparison and selection of engineering design solutions for a mechanical system are analyzed by the example of automatic gripper for handling components of control and protection system of a nuclear reactor (cluster of fuel assembly). Based on the method of expert evaluations proposed by the authors, analysis of the existing (used in the nuclear industry) automatic gripper functioning is carried out, peculiarities and limitations of its design are revealed. A new design for automatic gripper is proposed to provide a higher level of reliability of the system in question. A comparison of two engineering solutions for evaluation of the mechanical device quality is performed.

**Keywords:** methods of comparison of engineering solutions, methods of expert estimates, actuators, automatic gripper, fuel assembly cluster.

**Data on authors**

- Viktor M. Medunetskiy** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Vyacheslav V. Nikolaev** — JSC Control Systems and Instruments; Chief Designer; E-mail: mak5@inbox.ru

**Reference for citation:** Medunetskiy V. M., Nikolaev V. V. Functional analysis and selection of engineering solutions for mechanical systems // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 8. P. 659—663 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-8-659-663