

Подобие функционирования технических систем как научно-практический метод. Similarity of functioning of technical systems as research and practice method Першин В. А.¹, Гугуев И. К.², Ковалёв А. В.³

¹Першин Виктор Алексеевич / Pershin Victor Alekseevich - доктор технических наук, профессор;

²Гугуев Иван Кондратьевич / Guguev Ivan Kondratyevich - доцент;

³Ковалёв Андрей Владимирович / Kovalev Andrey Vladimirovich – магистрант,
кафедра технических систем ЖКХ и сферы услуг,

Донской государственный технический университет (ДГТУ),

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал), г. Шахты

Аннотация: в статье рассмотрены основные теоретические положения и примеры практического применения научно-практического метода «подобие функционирования технических систем» (ПФТС). В основе метода заложена идея исследования и совершенствования технических систем в процессе жизненного цикла с использованием математических моделей, содержащих частные и обобщённые критерии, индикаторы и инварианты, отвечающие признакам и условиям подобия функционирования систем с выходными характеристиками, которые находятся в заданном численном соответствии (подобии) характеристикам системы-аналога.

Abstract: the basic theoretical principles and practical applications of scientific and practical method of "similarity of functioning of technical systems" (PFTS). The method is based on the idea of the study and improvement of technical systems during the life cycle of using mathematical models containing partial and generalized criteria, indicators and invariants, and meets the conditions of similarity of functioning of systems with output characteristics that are given numerical conformity (similarity) with characteristics of the analogue.

Ключевые слова: подобие функционирования, метод, технические системы, жизненный цикл, условия, признаки, модели, критерии, индикаторы, инварианты, теория, практика.

Keywords: similarity of operation, method, system engineering, life cycle, conditions, features, models, criteria, indicators, invariants theory, practice.

УДК 001.891.573:62

Состояние предмета исследования

Качество функционирования технических систем, от проектирования до производства и технической эксплуатации - должно отвечать заданному качеству, не уступающему качеству функционирования лучших проектных или находящихся в эксплуатации аналогов. То есть, в продолжение всего жизненного цикла должно сохраняться качество функционирования технических систем, подобное заданному уровню качества. Условиям, принципам и признакам формирования, сохранения и повышения этого уровня отвечает научно-практический метод подобия функционирования технических систем (метод ПФТС) [1].

Гипотеза и концепция подобия функционирования технических систем

Гипотеза подобия функционирования технических систем формулируется следующим образом: если техническая система функционирует с выходными показателями качества по составу и значениям, установленными соответствующей одноцелевой системой-аналогом, и это соответствие инвариантно от структурных и входных воздействий, то имеет место подобие функционирования этих систем.

Концепция подобия функционирования технических систем: одноцелевые технические системы функционируют в соответствии с математическими моделями, содержащими частные и обобщённые критерии, индикаторы и инварианты, отвечающие в процессе жизненного цикла признакам, условиям подобия функционирования, а выходные характеристики процесса функционирования находятся в заданном численном соответствии (подобии) к характеристикам системы-аналога [1, стр. 9].

Теоретическая база метода ПФТС

Теоретической базой метода ПФТС служат: теория подобия; фундаментальные положения системного подхода; теоретические положения теории прогнозирования и принятия решений; методология CALS-технологий; положения и принципы функциональной взаимозаменяемости; философия подобия.

Первая и вторая теоремы подобия устанавливают соотношения между параметрами подобных явлений, не указывая способ реализации подобия при построении моделей [2, стр. 51].

Третья теорема [2, стр. 60] утверждает, что подобны те явления, которые происходят в геометрически подобных системах, подчиняются одним и тем же уравнениям связи, у которых моноваленты (одни и те же величины, параметры) находятся в численно постоянном отношении, и составленные из них критерии равны.

Однако теоремы подобия и дополнительные положения к ним содержат условия и принципы установления факта подобия, но не устанавливают условий достижения, оценки и сохранения подобия **функционирования** одноцелевых объектов исследования, в частности систем в условиях нестационарности количественных соотношений между их параметрами.

Основным теоретическим положением метода ПФТС является утверждение: система в любой заданный момент времени выполняет заданные функции подобно (подобна по выходным характеристикам функционирования) своему аналогу по целевому назначению, если при этом выполняется равенство единице

обобщенных индикаторов подобия её соответственных выходных характеристик при равенстве определяемых и определяющих критериев подобия.

Необходимым условием подобия функционирования систем является численное постоянство соотношений масштабов выходных характеристик к комплексу, переменных в общем случае, масштабов всех или некоторых существенных моновалент, описывающих эту систему. Поэтому, например, для однородных систем, при подобии их функционирования, требование постоянства соотношений соответственных моновалент *не является обязательным*. Такого типа отношения представляют собой обобщенные индикаторы подобия функционирования системы по *i*-ой выходной характеристике.

Основные термины, определения и положения метода ПФТС

Понятие «подобие функционирования систем» трактуется как взаимно однозначное соответствие выполнения системой-оригиналом сходственных с системой-аналогом выходных функций, тождественность математических описаний которых, включающих входные воздействия и внутренние параметры, устанавливается постоянством соответствующих критериев (чисел) подобия функционирования [1, с. 14].

Понятие «подобие функционирования» является мировоззренческой категорией, позволяющей исследовать явления, системы материального мира на разных этапах их существования, используя при этом объективные и единые критерии качества функционирования аналогов. В частном случае в качестве аналога может служить сама система-оригинал при её исследовании в процессе жизненного цикла.

Критерий подобия функционирования – это безразмерный комплекс, устанавливающий нормативное значение соотношения выходной функции к совокупности параметров внешних воздействий и параметров внутренних процессов явления, системы.

Согласно классической теории подобия критерии подобия можно получать различными методами, например: интегральных аналогов; анализа размерностей параметров; применения системы относительных единиц [2, стр. 71].

В общем случае, критерии подобия функционирования технической системы π_{y_i} по y_i -ой выходной характеристике имеют вид:

$$\pi'_{y_i} = y_i c_{y_i} / (x_j c_x)^{\alpha_i} (z_{k_i} c_z)^{\beta_i} (s_{p_i} c_s)^{\gamma_i} t^{\phi_i} = \frac{c_{y_i}}{c_x^{\alpha_i} c_z^{\beta_i} c_s^{\gamma_i}} \cdot \frac{y_j}{x_j^{\alpha_i} z_{k_i}^{\beta_i} s_{p_i}^{\gamma_i} t^{\phi_i}}, \quad (1)$$

где c^i – коэффициенты пропорциональности, масштабы изменения входных, выходных, внутренних параметров x_j, y_i, z_s и времени t , в течение которого исследуется или функционирует система, а α, β, γ – показатели степени при размерностях параметров в принятой системе измерений.

Также в общем случае, для характеристик y_i , ($i=1, r$), индикаторы подобия имеют вид:

$$\frac{c_{y_i}}{c_x^{\alpha_i} c_z^{\beta_i} c_s^{\gamma_i}} = 1 \Big|_{t_i = idem} \quad (2)$$

Обобщенные индикаторы подобия формируются из частных индикаторов подобия с учетом второй теоремы подобия и ряда особенностей метода подобия функционирования.

Для подобных систем константы и инварианты подобия являются постоянными величинами.

Моделью подобия функционирования называется комплекс математических зависимостей, показывающий физическую сущность и отношение подобия функционирования исследуемой системы к системе-аналогу [3].

Моделирование подобия функционирования – это процесс исследования системы, включающий построение модели подобия функционирования, определение состава и нормативных значений ее критериев подобия функционирования, установление и использование условий сохранения или достижения заданных системой-аналогом параметров однозначности объекта.

Очевидно, что для системной поддержки жизненного цикла этих технических систем необходимы частные и обобщенные, ориентированные на заданное качество функционирования модели, позволяющие не только оценивать, достигать, а и сохранять это качество по отношению к заданному качеству по системе-аналогу.

Необходимыми условиями подобия функционирования являются [1, стр. 26]:

- функциональное соответствие объединяемых в систему подсистем;
- подобие функционирования каждой из входящих в систему подсистем;
- подобие функционирования системы в целом;
- подобие функционирования системы-оригинала и системы-аналога.

Обобщенные модели подобия функционирования должны являться общими для систем определенного класса. Эти модели базируются на таких признаках общности:

- область применения моделей являются системы единого целевого назначения;
- универсальность моделей для использования как при синтезе, так и при анализе, а также на различных этапах «жизненного цикла» систем;
- инвариантность моделей по отношению к нестабильности условий однозначности систем;

- критерии подобия моделей функционирования должны иметь постоянные значения для всех систем одного функционального назначения.

В состав обобщённых моделей подобия функционирования входят: функциональная зависимость (ти) выходных характеристик от параметров системы (или комплекс уравнений функционирования системы); условия однозначности характеристик, параметров систем; частные и обобщённые критерии подобия функционирования подсистем и системы в целом; частные и обобщённые индикаторы подобия функционирования; частные и обобщённые критериальные уравнения подобия функционирования подсистем и системы в целом; числа подобия функционирования подсистем и системы в целом; математическая критериальная модель целевой функции, системы (зависит от задачи исследования, этапа жизненного цикла системы).

Основные теоретические положения метода ПФТС

Метод подобия функционирования позволяет исследовать однородные и неоднородные технические системы с последовательным, параллельным и комбинированным объединением подсистем, системы с обратными связями, чувствительность систем, их эффективность по признаку подобия функционирования [1]. Метод позволяет исследовать также одно- и многокритериальные задачи и стохастическое подобие функционирования.

Одним из ценных свойств метода ПФТС является возможность формировать, оценивать, формулировать и обеспечивать в процессе всего жизненного цикла заданные по аналогу признаки и технические решения технических систем. Решению этих задач в методе заложены принципы, алгоритмы моделирования подобия функционирования технических систем на стадии анализа и синтеза при проектировании систем [4], производстве и эксплуатации (контроле и обеспечения заданного технического состояния [5; 6; 7], модернизации [8], обеспечения взаимозаменяемости подсистем [9] и др.). При этом определены цели моделирования, обеспечение моделирования и, собственно, методология моделирования.

Метод позволяет обеспечивать в определённой степени и такие комплексные (эргатические, например) системы, как «человек – машина – среда» [10], «человек – одежда – среда» [11] и т. п.

Использование метода подобия функционирования в науке и технике позволило решить ряд научных задач и способствовало совершенствованию технических и технологических систем в области лёгкой [12, 13] промышленности, транспорта [14], при диагностике и испытании гидропривода машин и оборудования [15].

Выводы

1. Метод подобия функционирования технических систем является системным, научно-практическим методом.

2. Системность метода ПФТС определяет возможность формировать, оценивать и обеспечивать методологически и путём принятия обоснованных технических решений заданное качество функционирования технических систем.

3. Научный подход, гипотеза и концепция метода ПФТС позволяют использовать его в разных по сложности технических системах различного промышленного назначения.

Литература

1. *Першин В. А.* Методология подобия функционирования технических систем: Монография / В. А. Першин; Под ред. д. т. н., проф. А. Н. Дровникова. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ); Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2004. – 227 с.
2. *Веников В. А.* Теория подобия и моделирования [Текст] / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М.: Высш. шк., 1984. – 439 с.
3. *Першин В. А.* Моделирование подобия функционирования систем [Текст] / В. А. Першин, А. Н. Дровников // Новые технологии управл. движением техн. об-ов: материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. - Ростов-на Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, - 2000. С. 89-91.
4. *Першин В. А.* Подобие функционирования – как метод синтеза и анализа холодильной техники [Текст] / В. А. Першин, Р. В. Плякин // Холодильная техника: материалы междунар. науч.-техн. конф. – СПб, СПИХТ, 1998. - С. 54.
5. *Першин В. А.* Методология управления техническим состоянием транспортных средств на основе моделей подобия их функционирования. [Текст] / В. А. Першин, Е. М. Зайкин // Изв. вузов Северо-Кавк. регион. Техн. науки / Автомоб. сервис, организ. движ. и безоп-ть движ. Прилож. № 3. – Новочеркасск, 2004, - с. 107-116.
6. Способ контроля технического состояния гидропривода [Текст]: а. с. 1800110, Россия, МКИ F 04 В 51/00 / В. А. Першин, О. В. Жданова. - БИ № 9, 1993.
7. *Першин В. А.* Диагностика гидропривода обувных машин в производственных условиях [Текст] / В. А. Першин, О. В. Жданова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 1991. - № 6.
8. *Першин В. А.* Использование метода подобия при решении проблем модернизации оборудования. [Текст] / В. А. Першин, В. В. Сторожев, О. В. Жданова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1991. - № 6.
9. *Першин В. А.* Метод подобия при инженерном исследовании взаимозаменяемости элементов, систем машин [Текст] / В. А. Першин, О. В. Жданова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 1991. - № 4.

10. *Першин В. А.* Моделирование подобию функционирования системы «Человек – машина – среда». [Текст] / В. А. Першин // Новые технологии управления движением технических объектов: материалы 4-ой междунар. науч.-технич. конф. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001.
11. *Осипенко Л. А.* Моделирование системы «человек – одежда – среда» на этапе конфекционирования материалов для подсистемы «одежда» [Текст] / Л. А. Осипенко, В. А. Першин, А. И. Жаворонков // Изв. вузов. Сев. Кавк. регион. Техн. науки. Приложение № 6. - 2004. - С. 115-117.
12. *Першин В. А.* Методология и модели подобию функционирования технических систем в легкой промышленности / Дисс. докт. техн. наук - Москва: МГУС, 2005. – 350 с.
13. *Першин В. А.* О стохастическом подобию функционирования системы «интенсифицированная гигротермическая обработка» кожевенно-обувных материалов / Ларина Л. В., Першин В. А. Инженерный Вестник Дона / URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/896/> (№, 2012 г.).
14. Патент РФ 2061346. Способ диагностирования технического состояния транспортных средств. /Авт. Першин В. А., Вислогузов В. А. // МКИ 6 Q 01 M 17/00 - БИ N15, 1996 г.
15. Патент РФ № 2509927, МПК F25B 19/00 G01M 3/28. Стенд для диагностики по аналогу гидросистем машин коммунального назначения / Авт.: Першин В. А, Гугуев И. К. - Оpubл. 20.03.2014, Бюл. № 8. – 10 с.