

*С.В. ЛУЦКИЙ*, канд. техн. наук (ХНАДУ, г. Харьков)

## **ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА В ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

Розглянуті особливості використання основних положень інформаційного підходу при вирішенні задач кінематичного та динамічного аналізу механізмів. Введені поняття інформаційного рівняння, основної властивості інформаційного процесу, та обчислювання кількості інформації фізичних величин.

The considered features of use of the basic situations of the information approach at the decision of tasks and dynamic analysis of mechanisms. The entered concepts of information balance, basic property of information process, and account of quantity of the information of physical sizes.

**Введение.** Развитие современной науки и техники неразрывно связано с созданием новых машин. Наука, изучающая машины, в основу работы которых положены принципы механики с точки зрения исследования законов движения отдельных устройств и действующих на них сил, носит название «механики машин». Механика машин представляет собой науку, состоящую из двух дисциплин. Первая носит название «теория механизмов», а вторая носит название «теория машин». В теории механизмов изучают свойства отдельных типовых механизмов с позиции их строения, кинематики и динамики в связи с их анализом и синтезом. В теории машин рассматривается совокупность взаимосвязанных механизмов, образующих машину или машинное устройство, состоящее из комплекса машин, - так называемую систему машин автоматического действия, а также вопросы автоматического управления и регулирования.

Теория механизмов и машин включает в себя разделы: структурный и кинематический анализ механизмов; динамический анализ механизмов; синтез механизмов; основы теории машин автоматов [1].

Подход к исследованиям технических систем с позиции основных идей теории информации, получил название информационного подхода. К компетентности информационного подхода относятся все проблемы и задачи, в формулировку которых входит понятие информации. Его предметом считают изучение процессов, связанных с получением, передачей, обработкой, хранением и использованием информации. Такой подход к исследованию понятия информации затрагивает различные науки, в том числе и теорию механизмов и машин [2].

**Анализ последних достижений и публикаций.** Законы движения ведомых звеньев весьма разнообразны и осуществляются механизмами, выполненными по различным схемам. Для исследования движение механизма, необходимо знать размеры звеньев их взаимное положение. Обычно составля-

ют кинематическую схему механизма, которая является его кинематической моделью. Основной задачей кинематики механизмов является изучение движения звеньев механизмов вне зависимости от сил, действующих на эти звенья. Структура механизма характеризуется числом звеньев, а также числом и классом кинематических пар. Структура и геометрия любого плоского механизма с одной степенью свободы полностью определяют его функцию положения (ФП) – уравнение, связывающее координату  $\psi$  ведомого звена с обобщенной координатой  $q$  механизма ( координатой ведущего звена) и размерами звеньев  $p^i$ , называемыми параметрами механизма:

$$\psi = \psi(q, p^i). \quad (1)$$

Геометрическими характеристиками механизма являются также первая и вторая производные функции положения по обобщенной координате. Функция положения является математическим выражением геометрических связей в рассматриваемом механизме, заданных его кинематической схемой, и характеризует качественную и количественную стороны преобразования движения в этом механизме. ФП дает возможность: определять положения, скорости и ускорения звеньев механизма в функции его обобщенной координаты, а не в функции времени, а также выполнять геометрический и точностный синтез и анализ механизмов.

Кинематический анализ механизмов предусматривает решение трех основных задач: определение ФП механизма и траекторий характерных точек звеньев; определение угловых скоростей звеньев и скоростей точек; определение угловых ускорений звеньев и ускорений точек.

Динамический анализ механизмов имеет своими задачами: силовой анализ механизмов - изучение влияния сил на звенья механизма, на элементы звеньев, на кинематические пары и неподвижные опоры, и установление способов уменьшения динамических нагрузок, возникающих при движении механизма; динамику механизмов - изучение режимов движения механизма под действием заданных сил и установление способов, обеспечивающих заданные режимы движения механизма.

В теории механизмов и машин задачи решаются обычно в предположении, что звенья механизмов являются абсолютно жесткими. Первая из указанных задач динамики механизмов имеет своей целью определение внешних неизвестных сил, действующих на звенья механизма, а также усилий (реакций), возникающих в кинематических парах при движении механизмов. Вторая задача динамического анализа имеет своей целью определение мощности, необходимой для воспроизведения заданного движения машины или механизма, и изучение законов распределения этой мощности на выполнение работ, связанных с действием различных сил на механизмы, а так же решением вопроса о сравнительной оценке механизмов с помощью коэффициента полезного действия. К этой же задаче относится вопрос об определении ис-

тинного движения механизма под действием приложенных к нему сил, т.е. задачи о режиме его движения, а так же вопрос о подборе таких соотношений между силами, массами и размерами звеньев механизма или машины, при которых движение механизма или машины было бы наиболее близким к требуемому условию рабочего процесса [1].

Общую задачу динамического расчета и проектирования новых механизмов и машин конструктор обычно расчленяет и на две части сначала он задается приближенным законом движения входного звена механизма и внешними силами на него действующими, определяет все необходимые расчетные усилия и по ним подбирает необходимые размеры, массы и моменты инерции звеньев. Затем конструктор приступает к исследованию вопроса об истинном движении спроектированного механизма, к которому приложены различные действующие силы. В теории машин и механизмов силовой расчет обычно производят на основе обыкновенных уравнений равновесия твердых тел. Особенности информационного подхода к задачам кинематического и динамического анализа механизмов состоит в том, что информация как атрибут реального мира проявляется только при взаимодействии объектов. В процессе взаимодействия происходит изменение свойств объекта. Можно предположить, что изменение свойств объектов обуславливается и передачей информации.

Механизм представляет собой систему тел предназначенного для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел.

При построении математического понятия системы используют [3] три процесса: вход  $u$ , выход  $y$  и процесс в пространстве состояний  $x$ . Упорядоченное множество этих трех процессов обозначается через  $T$  и называется множеством моментов времени. Множество реакций системы может быть описано через соотношение

$$y(t) = \eta(t, x(t)), t \in T. \quad (2)$$

Отображение  $\eta$  называется отображением входа или функцией наблюдения. Отсутствие зависимости выхода  $y(t)$  от входа  $u(t)$  интерпретируется как невозможность за бесконечное малое время, изменяя входное воздействие вызывать изменение выхода системы. В текущий момент времени  $t$  состояние системы может быть описано через соотношение

$$\alpha(t) = \delta(t, \tau, x(\tau), u(t)), t \in T, \tau \in T, \tau < t. \quad (3)$$

Отображение  $\delta$  называется переходным, оно отображает свойство системы, которое обуславливается невозможность системы за промежуток времени нулевой длины перейти в другое состояние.

Формализация причинно следственной связи взаимодействия объектов (звеньев)  $A^i$  и  $B^i$  представляет собой кортеж множеств

$$S(A^i, B^j) = \{ u^A \delta^A x^A \eta^A y^A \theta u^B \delta^B x^B \eta^B y^B \vartheta \}, \quad (4)$$

Здесь  $u^A u^B$  – входы,  $x^A x^B$  – состояния объектов,  $y^A y^B$  – выходы. Множества  $\delta^A \delta^B \eta^A \eta^B$  – отображения переходные и входов,  $\theta, \vartheta$  – отображения согласования.

Исходя из причинно следственной цепочки, формализация передачи информации I при взаимодействии объектов (звеньев)  $A^i$  и  $B^i$  происходит в следствие проявления множества  $Y^B$ , которое обусловлено определенным множествам  $Y^A$  посредством его отображения:

$$I(y^A y^B): y^A \longrightarrow y^B \quad (5)$$

Приведенный системный подход к теории механизмов и машин расширяет математическую базу моделирования системы механизмов и машин, а также показывает направление передачи информации.

Можно предположить, что физическая и информационная сущность систем обуславливается их состоянием. Изменение состояния формируется посредством информационной связи, возникшей между взаимодействующими системами A и B.

Использование понятия свойства системы  $\{e\}$  при решении системных задач предполагает, что значение выхода  $y$  посредством обратного отображения  $\pi$  однозначно характеризует одно из состояний системы  $x$  в реализованном процессе  $\{e\} \equiv \{Y\} = X$ .

Таким образом, любой физический (технический) параметр системы (внешний, внутренний) характеризует ее свойство – качественную сторону, а значение параметра – количественную.

Количество информации, которое физически (технически) несут параметры свойств системы равно [4]

$$I_e = \sum_{k=1}^g \log_2 (g - k); \quad g = \frac{\Lambda(e) - \lambda(e)}{\lambda(e)}; \quad k = 1 \dots g, \quad (6)$$

где  $\Lambda(e_n) = \sup \lambda(e_n)$ ;  $\lambda(e_n) = \inf \lambda(e_n)$ ; - верхнее и нижнее значение параметров.

**Цель и постановка задачи.** Разработка основных положений информационного подхода применительно к решению задач теории механизмов и машин.

**Использование информационного подхода в теории механизмов и машин.** Оптимальное проектирование машин есть путь к достижению наиболее высокого качества объектных параметров. Оптимальные параметры проектируемой машины могут быть приняты в качестве сравнения, их необ-

ходимо рассматривать как эталон качества, к достижению которого необходимо стремиться с учетом многих факторов: конструктивных, технологических, экономических, эксплуатационных, а также по результатам оценки кинематических, динамических и точностных характеристик.

Понятие функции положения (ФП) является важнейшим в теории механизмов вообще и точных в особенности. Она дает возможность геометрическим путем согласовать положения, скорости и ускорения механизма в функции ее обобщенной координаты до того, как будет определен закон изменения обобщенной координаты во времени, и выполнять геометрический и точностный синтез и анализ механизмов.

Информационное согласование основных параметров ФП механизма и информационных критериев качества является одной из задач информационного подхода в теории механизмов и машин.

Информационным уравнением механизма называется уравнение ФП в информационной форме, которое в конкретных случаях может быть представлено в одном из следующих четырех видов:

$$I(\Psi) = I(\Psi(\varphi, \rho_i)), \quad I(S) = I(S(\varphi, \rho_i)), \quad I(\Psi) = I(\Psi(s, \rho_i)), \quad I(S) = I(S(s, \rho_i)), \quad (7)$$

где  $\Psi$  и  $S$  – угловая и линейная координаты ведомых звеньев, вращающегося идвигающегося поступательно;  $\varphi$  и  $s$  – угловая и линейная координаты ведущих звеньев.

В соответствии с основным свойством информационных процессов [4]. количество информации в левой части информационного уравнения должно быть равно количеству информации в правой части уравнения. В противном случае, если в правой части уравнения количество информации меньше чем в левой - проектируемая машина не сможет выполнять свое целевое назначение, а если больше - машина будет превышать свое функциональное назначение за счет неоправданного завышения экономических затрат при ее изготовлении и эксплуатации.

Для расчета количества информации в информационном уравнении функции положения механизма используется формула (6), но для этого необходимо определить значения физических величин параметров и их допуски по точности.

В реальных условиях практическая деятельность человека соприкасается с совокупностью измеряемых физических величин, свойственных какой либо области науки и техники, выделяющейся своей спецификой. Принято различать следующие физические величины, характеризующие свойства систем и процессов в механике машин .

1. Геометрические величины: длина; отклонение форм поверхностей; параметры сложных поверхностей;

2. Механические величины: масса, сила; крутящий момент; напряжение и деформация, параметры движения; твердость.

Физические величины, характеризующие свойства объектов (систем), в значительной степени выявляются при изучении свойств системы. Эти свойства систем принято называть наблюдаемостью, идентифицируемостью, управляемостью и адаптируемостью. Часто между наблюдаемостью и идентифицируемостью не делают различий, а адаптируемость рассматривают как частный случай управляемости.

Измерение, наблюдение являются необходимой составной частью управления механизмом и машиной. Связь управления с информацией, получаемой посредством измерения, является органической и может быть положена в основу определения понятия управления.

Для измерения физической величины используют средства измерительной техники это обобщенное понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений (средства измерений, измерительные преобразователи, измерительные принадлежности, измерительные устройства, средства проверки).

В общем случае, средство измерений включает в себя меру. Мера физической величины – средство измерения, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины называют погрешностью измерений.

На практике всегда имеют дело с оценкой погрешности измерений с некоторой доверительной вероятностью, так как истинное значение величины определить невозможно. Погрешность измерения может быть представлена в виде: абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины, или в виде относительной погрешности – отношения абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Часто относительную погрешность выражают в процентах.

По влиянию на результаты измерений различают систематическую погрешность – составляющую погрешности измерения, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины; случайную погрешность – составляющую погрешности измерения, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

По источникам возникновения различают: погрешность метода измерений – составляющую погрешности измерения, происходящую из-за несовершенства метода измерений (методическую погрешность и инструментальную погрешность измерения), составляющую погрешности измерения зависящую от погрешности применяемых средств измерений. Обе эти погрешности могут иметь систематическую и случайную составляющие.

Количество информации, которую несут измеряемые физические величины при систематической погрешности равно

$$I_{\phi.B.} = \log_2 \frac{1}{\Pi_{\text{отн.}}} = \log_2 \frac{\rho_{\phi.B.}}{\Pi_{\text{абс.}}} ; \quad (8)$$

где  $\Pi_{\text{отн.}}$  - относительная погрешность измеряемой физической величины;

$\Pi_{\text{абс.}}$  - абсолютная погрешность;

$\rho_{\phi.B.}$  - размер истинного значения физической величины.

Количество информации, которую несут измеряемые физические величины при наличии случайной погрешности равно

$$I_{\phi.B.} = \sum_{i=1}^n \rho_{c.n.(i)} \log_2 \frac{\rho_{\phi.B.}}{\rho_{c.n.(i)} \Pi_{\text{абс.}}} ; \quad (9)$$

где  $\rho_{c.n.(i)}$  – вероятность появления случайной погрешности при повторном  $I$ -том измерении.

Таким образом, измеряемая физическая величина несет в себе количество информации обратно пропорционально величине абсолютной погрешности, случайной или систематической.

Физические законы выражаются в виде математических соотношений между физическими величинами. Под физическими величинами понимают измеряемые характеристики (свойства) физических объектов (систем), т.е. предметов, состояний, процессов.

Каждая физическая величина представляет собой произведение численного значения на единицу измерения.

Физическая величина = численное значение > единица измерения.

С помощью основных физических величин можно получить производные физические величины, используя выражения для законов природы, либо путем целесообразного определения через умножение или деление основных величин.

Все формулы представляют собой уравнения для величин. Для множеств произвольной природы, в том числе и для числовых множеств, вместо термина «функция» часто пользуются термином «отображение», говоря об отображении одного множества в другое. В теории информации отражение лежит в основе передачи информации.

Таким образом, можно сказать, что уравнения в виде математических соотношений между физическими величинами, есть не что иное, как информационная модель физических законов, которая описывает передачу информации от аргумента к функции.

Физические законы, выражаются в виде отображений (функций) обусловленных математическими соотношениями между физическими величинами.

Количество информации производных физических величин определяется по формуле

$$I_{\phi.B} = a(I_1, I_2, \dots, I_i) \quad (10)$$

Абсолютная погрешность производной физической величины определяется потенцированием правой части формулы (9), определяется значение  $\frac{\rho_{\phi.B.}}{\Pi_{abc.}}$ , а затем, определяется значение  $\rho'_{\phi.B.}$  - традиционными методами, т.е. находим абсолютную погрешность физической величины через количество информации

$$\Pi'_{abc.} = \frac{\rho'_{\phi.B.}}{\left( \frac{\rho_{\phi.B.}}{\Pi_{abc.}} \right)} \quad (11)$$

где  $\Pi_{abc}$  абсолютная погрешность физической величины (вычисляемая),  $\rho_{\phi.B.}$  - действительное номинальное значение производной физической величины,

$\rho_{\phi.B.}$  - действительное номинальное значение исходной физической величины,

$\frac{\rho_{\phi.B.}}{\Pi_{abc.}}$  - множество проявления исходной физической величины.

Абсолютная погрешность равна разности между истинным значением физической величины и действительным, т.е. измеренным.

$$\Pi_{abc.} = \rho_{ист.} - \rho_{действ.} \quad (12)$$

Обратная величина относительной погрешности  $\frac{\rho_{ист.}}{\Pi_{abc.}}$  представляет собой множество значений истинной физической величины, которая может быть воспринята при передаче информации приемником (функцией) от передатчика (аргумента).

Математические соотношения между множествами аргументов подчиняются операциям над множествами: суммой, пересечением и разностью.

Динамические отношения свойств  $y^A y^B$  определяются из уравнения динамики вида:

$$F(y^A, \dot{y}^A, \ddot{y}^A, \dot{y}^B, y^B) + f = 0.$$

Уравнение динамики в логарифмической форме, представляет собой равенство количества информации, которой обладают параметры входа и выхода системы по отношению к свойствам всей системы.

$$\log_2 \left( a_0 \frac{\Delta y^A}{w^*} \right) + \left( a_1 \frac{\Delta \dot{y}^A}{w^*} \right) + \left( a_2 \frac{\Delta \ddot{y}^A}{w^*} \right) = \log_2 \left( b_0 \frac{\Delta y^B}{w^*} \right) + \left( b_1 \frac{\Delta \dot{y}^B}{w^*} \right) + \left( C_0 \frac{f}{w^*} \right). \quad (13)$$

где  $w^*$  - передаточная функция системы.

Данное уравнение динамики показывает, что параметры свойств взаимодействующих объектов находятся в информационном отношении и реагируют на величину порога восприятия друг друга.

### Выводы.

Теория механизмов и машин оперирует геометрическими и динамическими параметрами механизмов, которые в реальных условиях представляют собой физические величины, имеющие абсолютную погрешность. Предложенная методика использования информационного подхода при проектировании механизмов и машин позволяет информационно согласовывать геометрические и динамические (в стационарном режиме) параметры механизмов и таким образом оптимизировать экономические затраты на этапах конструирования, технологической подготовки производства и изготовления в интегрированных машиностроительных производствах.

**Список литературы:** 1. *Артобольский И.И.* Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.-640 с. 2. *Дмитриев В.И.* Прикладная теория информации: Учеб. для студ.вузов по спец. «Автоматизированные системы обработки информации и управления».-М.: Высш. шк., 1989.- 320 с. 3. *Карпуть В.Е., Луцкий С.В.* Теоретические основы информационного подхода в технологии машиностроения // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2006. - С.139-144. 4. *Луцкий С.В.* Моделирование технологических процессов и систем в информационном пространстве свойств // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. - Вып. 28. ДНТУ, Донецк -2004. - С. 98-103.

*Поступила в редколлегию 30.10.07*