

Грищенко Ю. В., Соломнцев А.В. Обоснование применения принципа инвариантности при анализе процессов в системах человек-машина неклассическими методами Кибернетика и вычислительная техника: Межведомственный сборник научных трудов. – К.: Вид. дім "Академперіодика" НАН України, 2009. – Вып. 156. – С. 71-76.
УДК 629.735.017.

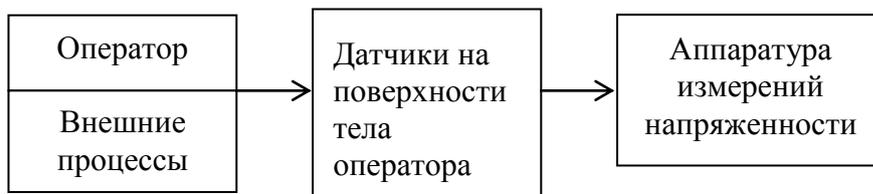
Ю.В. Грищенко, А.В. Соломенцев

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА ИНВАРИАНТНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЧЕЛОВЕК-МАШИНА НЕКЛАССИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рассматривается актуальный вопрос применения принципа инвариантности при анализе процессов в системах человек-машина неклассическими методами. Показана возможность определения противодействия пилота негативным факторным накладкам по параметрам полета современных самолетов. Это обусловлено качественным сохранением структуры движения пилота при взаимодействии с системой управления

Введение. Топологические инварианты могут рассматривать более широко структуры преобразований. Например, преобразование квадрата в круг можно назвать топологическим инвариантом. В нашем примере, который нас интересует – преобразование внутренних и внешних процессов человека-оператора (ЧО, в нашем случае - пилота) в полетные данные бортовых самописцев воздушного судна (ВС). **Инвариантны** подобные преобразования или **неинвариантны** (рис.1.)? Этот вопрос очень важен, так как на практике стоит задача

А. Классические методы – преобразование характеристик ЧО в выходы аппаратуры



Б. Неклассические методы – преобразование характеристик ЧО в машинные выходы ВС

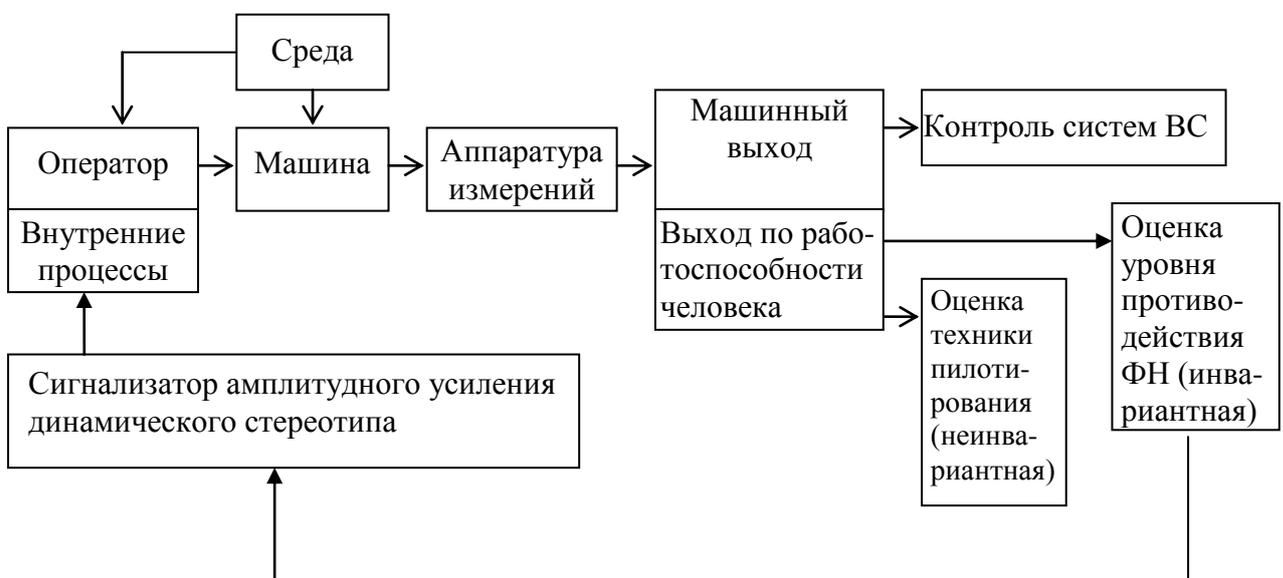


Рис. 1. Схемы сравнения методов (А и Б) определения характеристик пилота по датчикам и машинному выходу.
освобождения ЧО от системы датчиков определения психофизиологических параметров.

И это центральный вопрос неклассических методов измерения процессов человека: на рис. 1 представлены 2 подхода к определению характеристик ЧО. Первый подход – классический предполагает размещение датчиков психофизических параметров (пульс, дыхание, давление, сердечный ритм и т.д.) на поверхности тела в контактной и неконтактной формах. На практике этот способ анализа характеристик ЧО широко используется и доведен до совершенства в комплексных полиэффektorных подходах с техническими средствами на основе электронной и компьютерной обработки данных, в том числе в простом или телеметрическом виде.

Такой подход не вызывает научных дискуссий, но на практике его применение ограничено динамикой операционной деятельности ЧО или возникающей проблемой доступности (например, ограниченности размеров пилотской кабины современных воздушных судов).

Второй подход – измерение характеристик ЧО и оценка его эффективности работы по машинным выходам, например, по параметрам полёта – крену, курсу, углу атаки и т.д., научно менее обоснован.

Поэтому и возникает необходимость ещё раз с позиции общей теории инвариантности рассмотреть границы и область применения такого подхода как практически более перспективного, чем первый.

Постановка задачи: измерение характеристики процессов человека по машинному выходу.

Такая постановка возможна тогда и только тогда, когда машина производит инвариантное преобразование характеристик процессов человека. Особенно это важно в задачах слежения (работа штурвалами, рычагами управления, кнопками, клавишами и т.д.).

Рассмотрим некоторые важные посылки развития неклассического подхода:

1. К общей теории инвариантности

1.1. К истории возникновения понятия «инвариант».

Впервые понятие **инварианта** возникло в математическом разделе – линейной алгебре. Почему? Потому что алгебра – это простейшая теория математических преобразований. Совершая математические преобразования, исследователь круговых, кольцевых, матричных и др. преобразований всегда встречался с процедурой полностью вариативной (изменяющейся) и процедурой, которые сохраняла математические свойства, знаки,

символы, формулы. Простейшим инвариантом были, так называемые, **постоянные коэффициенты**, которые имели буквенное, а не чисто цифровое значение.

Сохранение постоянных коэффициентов в процессе математических преобразований (например, в ходе решения матриц) и привело к обобщенному понятию инварианта. В самом широком смысле под инвариантом понимается сохраняемая, неизменная часть (величина, цифра, число, формула, алгоритм и т.д.) любого математического преобразования.

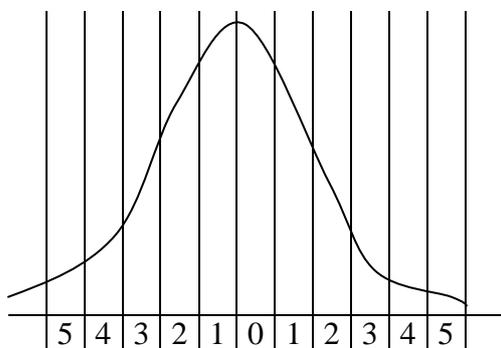
Математические преобразования – это, как правило, односторонний процесс. Поэтому инварианты в простейшем виде возникают по цепочке:

- начало преобразования → конец преобразования;
- число → тоже число;
- символ → тот же символ;
- круг → тот же круг и т.д.

Так было на начальной стадии развития теории инвариантности до появления математической топологии.

2. Инвариантность в теории случайных процессов (ТСП) стационарность и эргодичность как виды инвариантности

Основными понятиями в ТСП являются понятия вероятности (функционал от 0 до 1) и понятие законов распределения вероятности, которые изучаются на основе классификации законов распределения по видам. Однако на практике такой способ определения характеристик случайных процессов очень ограничен и имеет четко выраженные границы применения. Например, для построения простейших законов нужно не менее 500-600 измерений в однородном вероятностном пространстве. Это вызвано тем, что инвариантом любого распределения является определённое число интервалов квантования в законе. Оно, как правило, на практике для всех видов законов одинаково (для дискретных и непрерывных) и равно от 6 до 8 (10-12).



← ————— ————— →
Интервал квантования (для любого закона распределения)

Рис. 2. Пример квантования при нормальном законе распределения.

Это очень хорошо видно на основном законе распределения непрерывных случайных величин и процессов – нормальном законе распределения (законе Гаусса); который строится на основе «колоколообразной» экспоненциальной функции l^{x^2} . Но тогда достоверность измерения каждого интервала закона требует: число интервалов квантования $\times 10 =$ итого $6 \times 100 = 600$; $8 \times 100 = 800$ и т.д. (рис. 2).

Безусловно, для практики 300, 400, 500-800 измерений одного процесса (для величины значений, для процесса – реализаций) является очень серьезным ограничением, так как на практике такие методы можно применить только к явлениям, которые в статистике называются массовыми. Массовые явления в производственных процессах – это обычно, простейшие производственные операции. Например, изготовление модульных деталей, узлов, конструкций, элементов микроплат и т.д.

Однако, для практических сложных процессов, которые охватывают процессы управления, контроль, ремонт и поиск неисправностей, техническое обслуживание машин в целом (когда в конструкторской спецификации до сотен тысяч элементов) это условие построения вероятностного закона, а значит и статистической достоверности - трудно достижимо (рис. 3). Поэтому возникают методы моделирования (например, методы Монте-Карло и другие). Но они не снимают эту проблему.

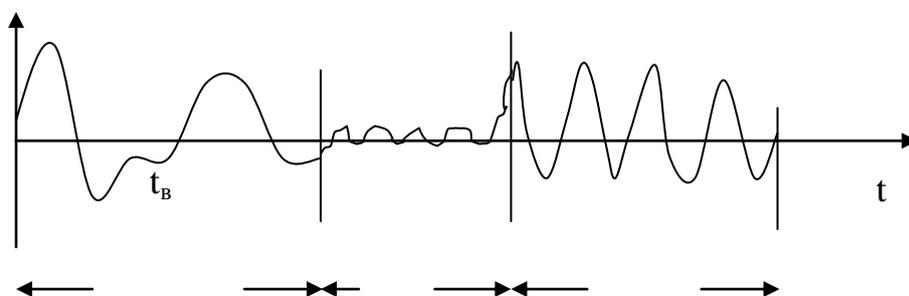


Рис. 3. Пример случайного процесса с дискретной компонентой t_i в производственных процессах (например, полёт, t_b - взлёт, а t_n - посадка)

Из рисунка 3 видно, что процессы управления, как правило, во времени неоднородны – состоят из разных по качеству участков (этапов) t_b , t_i , t_n , которые в целом не описываются в рамках классической теории нестационарных, чистых стационарных процессов[8].

Проблема инвариантности в теории случайных процессов решается через понятие «стационарность» и «эргодичность», но этого также недостаточно.

Инвариантами при этом являются:

при стационарности – вероятностный процесс, в котором ее характеристика, например, математическое ожидание, не изменяется во времени:

при эргодичности – характеристики по совокупности равны временным характеристикам.

3. Основные понятия в общей теории инвариантности по данным современной математики (достаточно широки, но к сожалению, содержат элементы неопределённости):

- инвариант;
- интегральный инвариант динамической системы (Д.Д. Биркгоф. Динамические системы);

- ковариантность;
- корреляция;
- теория инвариантов в линейной алгебре;
- линейный и нелинейный оператор;
- преобразование;
- полигармоническая функция;
- случайный процесс;
- почти (квази) – периодические функции;
- класс специальных функций;
- соизмеримые и несоизмеримые периоды:

типа $\cos x + \cos \sqrt{2}x$

- формула Эйлера:

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$

$$\sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

связь с экспонентами: $e^{ix} = \cos x + i \sin x$;

- преобразование через произведения: $\sin x = x \prod_{n=1}^{\infty} \left(1 - \frac{x^2}{\pi^2 n^2} \right)$

(бесконечные произведения).

3. Общие вопросы теории инвариантности

Согласно [3] в теории инвариантности в САР рассматриваются общие вопросы теории инвариантности и её применения, которые включают в себя следующие системы:

- комбинированные;
- многосвязные;
- импульсные и цифровые;
- самонастраиваемые;
- прочие.

4. Основные математические теории, на которых должна строиться общая теория инвариантности, рассматривающая связь процессов человека и процессов машины:

- общая теория инвариантности и ее локальные (местные) основания;
- общая теория колебаний, дефиниции и классификации колебаний;
- теория инвариантов в линейной алгебре;
- теория интегральных и дифференциальных инвариантов в общей теории динамических систем;
- общая теория действий и противодействий человека (теория И.Сеченова);
- общая теория функционального математического анализа и теории множеств;
- общая теория постоянных величин (абстрактная и современная арифметика).
- Интересным представляется переход от принципа максимального правдоподобия к

принципу инвариантности (рис. 4). Это даёт возможность рассмотреть основные функции радиолокационных станций (РЛС), где участвует ЧО:

- - измерение угловых координат;
- - измерение дальности, как инвариантные.

На основе аналитики этих теорий можно разработать дефиниции и классификации по инвариантности всех явлений (например [4, 5, 7]), в том числе явления усиления динамического стереотипа [1].



Рис. 4. Схема перехода от внешних способов внешнего выделения сигнала к внутренним.

Следует отметить, что в системе «глаз-рука» у ЧО в процессе слежения наблюдается колебательность «выходного» канала [6]. На выходе машины также наблюдаются колебательные движения, а не ступенчатые. Таким образом, напрашивается **вывод** об инвариантности человеческого и машинного выходов при оценке степени усиления динамического стереотипа пилота [1].

Выводы

1. Психофизиологические датчики о характеристиках человека–оператора несут в основном информацию по выходным сигналам, которая математически описывается общей теорией колебаний.

2. Колебательный характер выходных характеристик человека–оператора позволяет сделать вывод для систем слежения о том, что машинные выходы систем инвариантны по отношению к входным характеристикам системы, если на входе такой системы работает человек–оператор.

3. Из общей теории автоматике и автоматических систем управления известно, что по отношению ко всем видам колебаний (синусоидальные, модулированные, со случайным спектром и т.д.) существующие системы инвариантны по схеме «вход-процесс-выход».

4. В практическом плане инвариантность системы «человек-машина» позволяет по машинным выходам определить инвариантные свойства и характеристики человека-оператора без размещения контактных и бесконтактных психофизиологических датчиков.

Литература

1. Грищенко Ю.В. Явление усиления динамического стереотипа пилота при действии комплексных отказов // Эргономические вопросы безопасности полетов. – К.: КИИГА, 1987. – С. 87-91.
2. Грищенко Ю.В. Способы повышения безопасности процессов полета путем снятия отрицательных явлений // Проблемы охраны труда и окружающей среды в производственных процессах гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1989. – С. 81-84.
3. Теория инвариантности в системах автоматического управления // Труды второго Всесоюзного совещания, состоявшегося в Киеве 29 мая – 1 июня 1962 г. – М.: Наука, 1964.
4. Петров Б.Н., Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 242 с.
5. Карташов Г.Д. Исследование проблемы инвариантности в теории надёжности. Спец. 01.01.09. – математическая кибернетика. Автореферат дис. на соискание учёной степени д-ра физ.-мат. наук. – М., 1975. – 32 с.
6. Суходольский Г.В. О колебаниях системы «глаза-рука» человека при слежении. В кн.: Теоретическая и прикладная психология в Ленинградском университете. Тезисы докладов. Л.- Ленинградское отделение общества психологов СССР и факультет психологии Ленинградского университета. 1969 г. – С. 187-189.
7. Хенман Э. Представления групп и прикладная теория вероятностей. – М.: Мир, 1970. – 117 с.

8. *Анисимов В.В.* Случайные процессы с дискретной компонентой. Предельные теоремы. – К.: Вища шк., 1988. – 184 с.