



УДК 621.365

**И.В. Захаров**

ПГУ, г. Павлодар

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА САМОКОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
В ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Проблемы создания электротермического оборудования с высокими технико-экономическими показателями ставят перед проектировщиками ряд задач, наиболее важные из которых могут быть решены на основе использования принципа самокомпенсации реактивной мощности.

Использование данного принципа в устройствах для индукционного нагрева позволяет получить существенный выигрыш в экономии на средствах искусственной компенсации, решить задачи минимизации их массы и габаритов. Улучшаются условия компоновки устройства в целом, объединяются системы охлаждения катушки индуктивности и конденсатора. Это достигается за счет многофункционального использования токонесущих проводников обмотки индуктора и диэлектрика, разделяющего их разноименные части.

Принцип самокомпенсации реактивной мощности широко используется при создании различных электротехнических установок и устройств [1-5].

Применительно к индукционным установкам впервые принцип самокомпенсации был использован Г.И. Бабатом в конструкциях полигональных индукторов [6]. Автор рассматривал полигональные индукторы (рис. 1) как разновидность продольно-компенсированных линий, при помощи которых индукционным методом вводилась мощность в газовую среду. В воздухе при помощи атмосферного давления удавалось возбуждать безэлектродные разряды мощностью в несколько десятков киловатт. Отмечается, что это является перспективным для обжига разного рода тугоплавких огнеупорных материалов, а также для электрохимических реакций. Однако рабочий частотный диапазон полигональных индукторов лежит в мегагерцной области, что делает невозможным использование их в целях сквозного нагрева металлической загрузки.

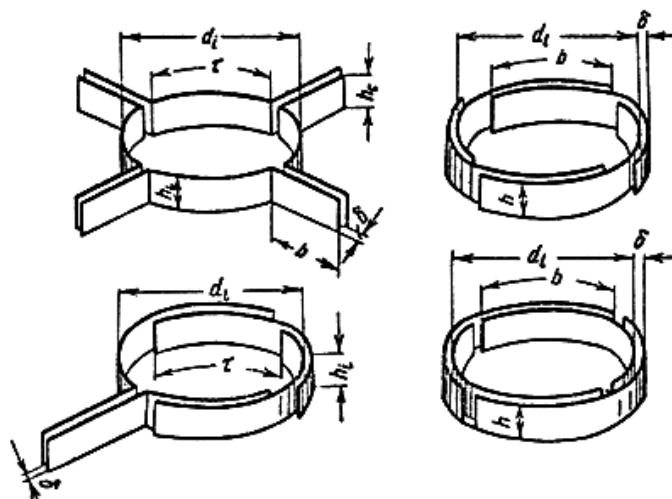


Рис. 1. Эскизы конструкций одновитковых полигональных индукторов

Прогресс в области технологий индукционного нагрева и конструкционных материалов позволяет на современном этапе значительно понизить рабочий диапазон частот индукторов, использующих достаточно большую собственную емкость для компенсации индуктивной составляющей сопротивления обмотки, и тем самым существенно расширить область применения индукторов с самокомпенсацией реактивной мощности (ИС).

Далее рассмотрены некоторые конструктивные и схемные варианты ИС, реализующие идеи их оптимизации и повышения эффективности работы.

Одной из первых индукционных установок, реализующих эффект самокомпенсации, была установка, описанная в [7] (рис. 2).

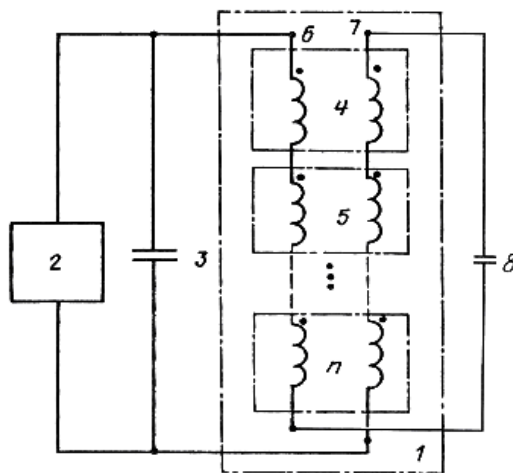


Рис. 2. Электрическая схема соединения индукционной установки

Установка содержит индуктор 1, подключенный к источнику питания 2. Параллельно индуктору подключена конденсаторная батарея 3. Индуктор состоит из отдельных секций 4, 5, ...,  $n$ . Каждая секция выполнена в виде двухзаходной обмотки из двух проводников 6 и 7, изолированных друг от друга. Начало проводников секции 5 соединены соответственно с концами проводников секции 4 и т.д. Источник питания подключен к началу

проводника 6 секции 4 и концу проводника 7 секции  $n$ . В случае неполной компенсации реактивной мощности параллельно источнику питания подключена конденсаторная батарея 3. Начало проводника 7 секции 4 и конец проводника 6 секции  $n$  могут быть разомкнуты или соединены через дополнительную конденсаторную батарею 8.

Подключение источника питания к индуктору приводит к протеканию тока, «нити» которого замыкаются, охватывая проводники 6 и 7 через емкостную связь между ними в виде тока смещения. Ток в проводниках 6 и 7 последовательно соединенных секций не остается постоянным ввиду его ответвления через емкостную связь. При известной намагничивающей силе число витков индуктора, его геометрические размеры с учетом кондуктивного исполнения и электрическая емкость между проводниками секции выбираются такими, чтобы при заданной частоте обеспечить режим резонанса. Чем ближе практически будет достигнут режим резонанса, тем меньшую емкость должна иметь конденсаторная батарея 3.

Напряжение между разомкнутым началом проводника 7 секции 4 и концом проводника 6 в  $Q$  раз больше, чем напряжение на зажимах источника питания, где  $Q$  – добротность обмоток индуктора. Поэтому включение дополнительной батареи 8 компенсирующих конденсаторов позволит сократить необходимую емкость конденсаторной батареи 3, что уменьшит стоимость, массогабаритные показатели устройства.

Уменьшение потерь и габаритов в предлагаемом устройстве связано с тем, что функции индуктора и конденсатора, обычно применяемого для компенсации реактивной мощности, частично или полностью совмещены. Размеры токоведущих проводников определяются уровнем активной мощности, подводимой к устройству. Совмещенное исполнение индуктора и конденсатора позволяет сделать для них общим циркуляционное охлаждение, механическое крепление проводников и изоляции в едином корпусе.

В устройстве для индукционного нагрева, описанном в [8], впервые сделана попытка получить положительный эффект от особенности распределения тока по длине проводника, которая выражается зависимостью  $i = f(x)$ .

Отдельные секции  $1, 2, \dots, n$  соединены последовательно согласно. Провода 3 и 4 изолированы один от другого с помощью изоляции 5. Поперечное сечение первого проводника уменьшается при переходе от секции 1 к секции  $n$ , а второго проводника 4 увеличивается. Сумма поперечных сечений первого и второго проводников остается величиной постоянной во всех секциях. Источник питания подключается к началу 6 первого проводника и концу 7 второго проводника, которые имеют максимальное поперечное сечение. Конец 8 первого проводника и начало 9 второго остаются разомкнутыми.

Подключение источника питания приводит к протеканию тока, пути которого замыкаются, охватывая проводники 3 и 4 через емкостную связь между ними в виде тока смещения. Ток в проводниках 3 и 4 последовательно соединенных секций не остается постоянным ввиду его ответвления через емкостную связь. В проводнике 3 ток уменьшается при увеличении координаты  $x$  (рис. 3), а в проводнике 4 увеличивается.

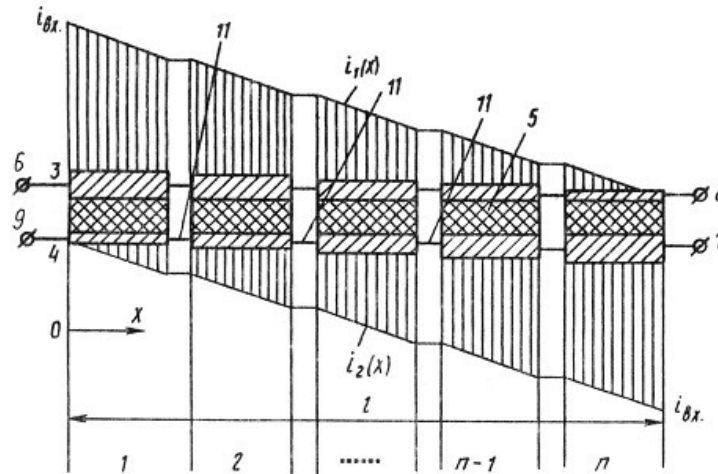


Рис. 3. Эпюра распределения тока по проводникам индуктора при ступенчато меняющемся поперечном сечении

Сравнительная оценка уровня потерь в предлагаемом устройстве для индукционного нагрева по сравнению с устройством, выполненным из проводников с постоянным сечением, может быть выполнена по эквивалентному входному резистивному сопротивлению. При сравнении вариантов считается, что параметры проводников и частота источника питания такие, что поверхностный эффект проявляется одинаково.

Подключение источника питания с напряжением  $U_n$  к началу первого и концу второго проводника обеспечивает суммирование намагничивающих сил токов  $i_1$  и  $i_2$ . Вследствие протекания токов смещения между проводниками как напряжения  $U_1$  и  $U_2$ , так и токи  $i_1$  и  $i_2$  зависят от координаты  $x$  по всей длине проводников устройства.

Математическая модель устройства в этом случае приводит к анализу цепи с распределенными параметрами. Оправдан подход, когда на первом этапе расчета распределение токов и напряжений вдоль координаты  $x$  определяется без учета потерь. При сильной магнитной связи между проводниками двухзаходной обмотки (коэффициент связи  $K_m=1$ ) распределение токов и напряжений носит линейный характер. Токи в начале первого и конце второго проводника равны току источника питания  $i_{\theta x}$ . Входное сопротивление при подобном распределении токов и постоянном сечении по длине  $l$  проводника, равно

$$r_{\theta x} = \frac{2}{3} r_L \cdot l, \quad (1)$$

где  $r_L$  – сопротивление проводников на единицу длины.

При ступенчатом изменении сечения проводников при наличии  $n$  ступеней сопротивление равно

$$r_{\theta x.c} = \sum_{k=1}^n \frac{2r_{Lk}}{3 \cdot l^2} (x_k^3 - x_{k-1}^3), \quad (2)$$

где  $r_{Lk}$  – сопротивление проводников  $k$ -й секции на единицу длины;

$x_k^3, x_{k-1}^3$  – координаты точек подключения участка проводников с постоянным сечением.

На основании формул (1) и (2) проводят анализ устройства для индукционного нагрева с постоянным и изменяемым поперечными сечениями проводников. Сравнение проводится из условия одинаковой производительности устройства и уровней потерь в нем, определяемых равенством входных сопротивлений  $r_{ex}$  и  $r_{вх.с.}$ . Преимущества предлагаемого устройства позволяют уменьшить общий объем на 10 %, а массу используемых проводников на 25 %.

Идеи упрощенного изготовления индуктора с самокомпенсацией реактивной мощности, улучшения охлаждения его обмотки были реализованы в индукционной нагревательной установке, описанной в [9].

Устройство состоит из отдельных секций  $1, 2, \dots, n$ , обмотанных коаксиальным кабелем 8 и одетых на основание из стеклопластикового цилиндра 9 (рис. 4). Секции соединены между собой последовательно согласно. При их соединении принято, например, что жилы 3 предыдущей секции подключены к жиле 3 последующей секции, а оболочка 4 предыдущей секции подключена к оболочке 4 последующей секции (рис. 5). В одном из мест соединения 5, целесообразно в середине индуктора, имеет место транспозиция, т.е. подключение жилы предыдущей секции к оболочке последующей, а оболочке предыдущей секции к жиле последующей. При этом в соединении 6 начало жилы секции 1 соединено с концом жилы секции  $n$ , начало оболочки секции 1 и конец оболочки секции  $n$  разомкнуты. Источник питания 7 включен в одном из мест соединения секций последовательно с ними. Включение источника питания в разные места соединений секций, т.е. в разные точки цепи с координатой  $y$  вдоль кабеля длиной  $l$ , позволяет получать сопротивление индуктора относительно входа в широком диапазоне его значений.

С учетом принимаемых допущений оценка значений входного сопротивления может быть выполнена по формуле

$$z_{ex} = \frac{z_{ex0}}{(1 - y/l)^2}, \quad (3)$$

где  $z_{ex0}$  – входное сопротивление индуктора в предположении, что источник питания включен симметрично относительно жилы и оболочки, т.е. при  $y = 0$

$$z_{ex0} = r_s + g_c \cdot l \cdot \frac{L_0}{C_0}, \quad (4)$$

где  $r_s$  – эквивалентное сопротивление, учитывающее мощность в нагрузке и потери в проводниках кабеля;

$g_c$  – проводимость, учитывающая потери в изоляции кабеля;

$L_0, C_0$  – индуктивность и емкость индуктора на единицу длины кабеля.

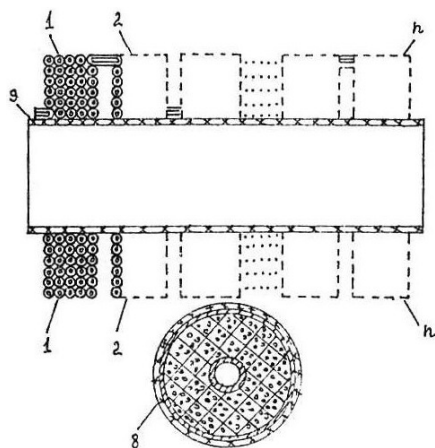


Рис. 4. Конструктивное исполнение индукционной установки

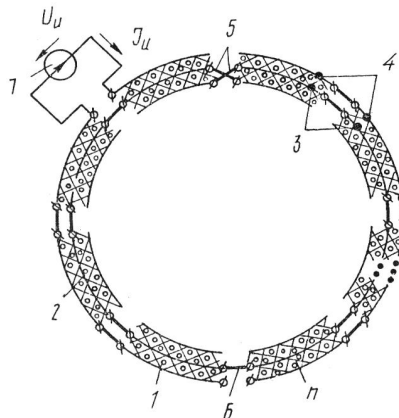


Рис. 5. Схема соединения секций индуктора

Таким образом, подобное включение источника дает возможность согласовывать нагрузку – индуктор с источником питания. При этом не требуются дополнительных устройств согласования в виде трансформатора, что снижает габариты и стоимость установки индукционного нагрева в целом.

Охлаждение индуктора осуществляется прокачиванием воды вдоль жил, указанное соединение секций позволяет более эффективно охлаждать участки цепи, по которым протекает максимальный ток, что значительно улучшает условия теплоотвода. Применение кабеля с композиционным материалом между жилой и оболочкой увеличивает электрическую прочность изоляции, повышая тем самым надежность его работы.

Изготовление индуктора из коаксиального кабеля технологически проще, чем индуктора, выполненного двухзаходной намоткой, не требует специальной установки, сокращает время изготовления, снижает стоимость изготовления индуктора.

Идея ступенчатого исполнения проводников обмотки индуктора, повышения его собственной емкости и упрощения конструктивного исполнения воплощены в многослойной обмотке индуктора, описанной в [10].

Обмотка содержит ленточные проводники 1 и 3 одной полярности, ленточные проводники 2 и 4 противоположной полярности, а также диэлектрик 5, изолирующий разноименные проводники друг от друга (рис. 6).

Подключение источника питания к вводным клеммам А и В приводит к появлению в обмотке тока, который, протекая по проводникам 1–4, замыкается через емкостную связь между ними в виде тока смещения. Переменное сечение в обмотке выполнено ленточными проводниками одинаковой толщины 1 и 3 для одной полярности и проводниками 2 и 4 для противоположной полярности, соединенными попарно параллельно. Причем суммарное сечение парных проводников 1 и 3, 2 и 4 равно сечению соответствующих участков разноименных проводников. В отличие от прототипа, электрическая емкость такой обмотки больше при прочих равных условиях за счет того, что между ленточными проводниками одной полярности, например, 1 и 3, образующих ступень 1, размещается часть ленточного проводника 2 противоположной полярности. При этом верхняя половина проводника 2 участвует в создании электрической емкости на участке ступени 1. Анало-

гична ступень 11 и ее дополнительная емкость.

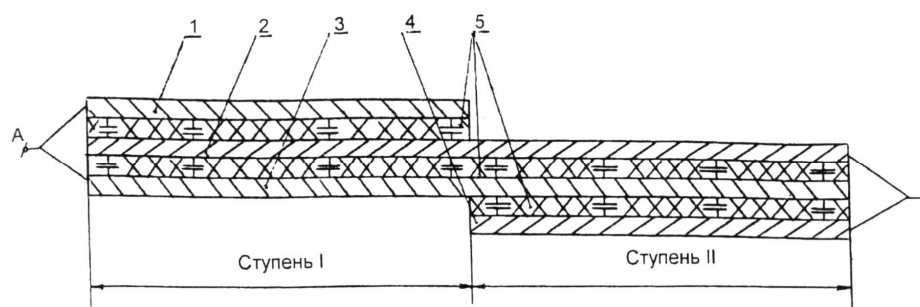


Рис. 6. Обмотка индуктора (условно размотана в линию)

Таким образом, емкость обмотки индуктора может быть увеличена на 33 %. Это, в свою очередь, позволяет при той же резонансной частоте источника питания уменьшить количество витков, а значит снизить массу и габариты обмотки.

Кроме того, создание переменного сечения из отдельных ленточных проводников одинаковой толщины позволяет использовать один сортament лент, что значительно упрощает технологию изготовления обмотки.

Расчеты и эксперименты показывают, что в области промышленной частоты (50/60 Гц) резонансный режим индуктора достигается при достаточно большой длине самокомпенсации (большом количестве витков  $W$ ). Это ведет к повышенному расходу проводникового металла, увеличению габаритов и массы индуктора.

Значительно сократить длину самокомпенсации позволяет способ, предложенный в [11].

Анализ схемы замещения индуктора подобной конструкции позволяет отнести его к планарной многосвязной цепи с режимом работы в режиме резонанса напряжения или близким к нему. Таким образом, напряжение между проводниками  $A$  и  $B$  в любой условной координатной точке  $x$  по длине  $l$  обмотки существенно отличается в большую сторону от напряжения на вводных клеммах 1 и 2, т.е. индуктор подобной конструкции является контуром с большой добротностью  $Q$ . Добротность контура тем выше, чем меньше его активное сопротивление. То есть с понижением уровня охлаждения обмотки индуктора до азотно-неонового (77К-20К)  $Q$  индуктора возрастает в десятки, даже сотни раз по сравнению с  $Q$  при  $T = 273\text{K}$  вследствие снижения удельного активного сопротивления металла ленточных проводников  $A$  и  $B$ . Количество реактивной мощности, генерируемой сосредоточенной емкостью, прямо пропорционально  $U^2$ , приложенному к ней. Таким образом, варианты подключения к обмотке индуктора сосредоточенной емкости  $C$ , представленные на рис. 7, расположены по мере возрастания в местах подключения уровня перенапряжения, а значит по мере возрастания выгоды (количества генерируемой реактивной мощности при одной и той же емкости) от этого подключения.

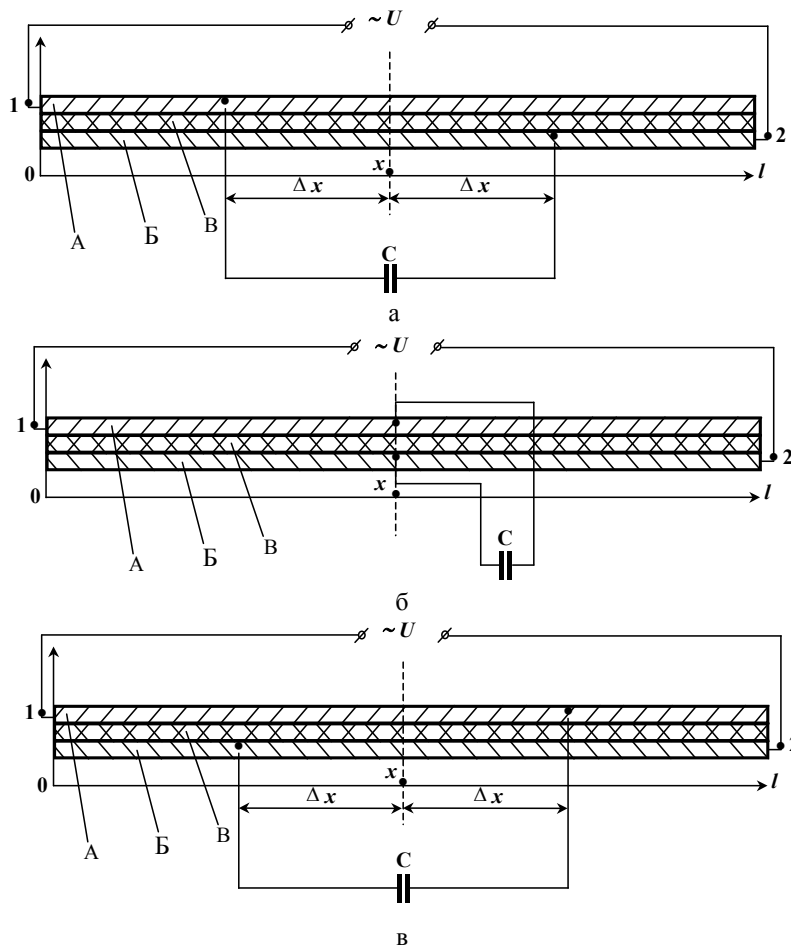


Рис. 7. Схемы подключения сосредоточенной емкости

Подключение сосредоточенной емкости  $C$  (даже соизмеримой с собственной емкостью индуктора) в указанных на рис. 7 координатных точках позволяет значительно повысить собственную емкость индуктора, уменьшить его емкостное сопротивление, а значит достичь режима резонанса на более низких частотах источника питания или при той же резонансной частоте значительно сократить число витков индуктора, а значит уменьшить расход проводникового (цветного) металла, габариты и массу индуктора.

Приведенные конструкции ИС при использовании их в целях электронагрева в диапазоне частот от 50 Гц до 10 кГц позволяют получить существенный выигрыш в капитальных затратах на средства искусственной компенсации, в экономии потерь активной и реактивной мощности, производственных площадей.

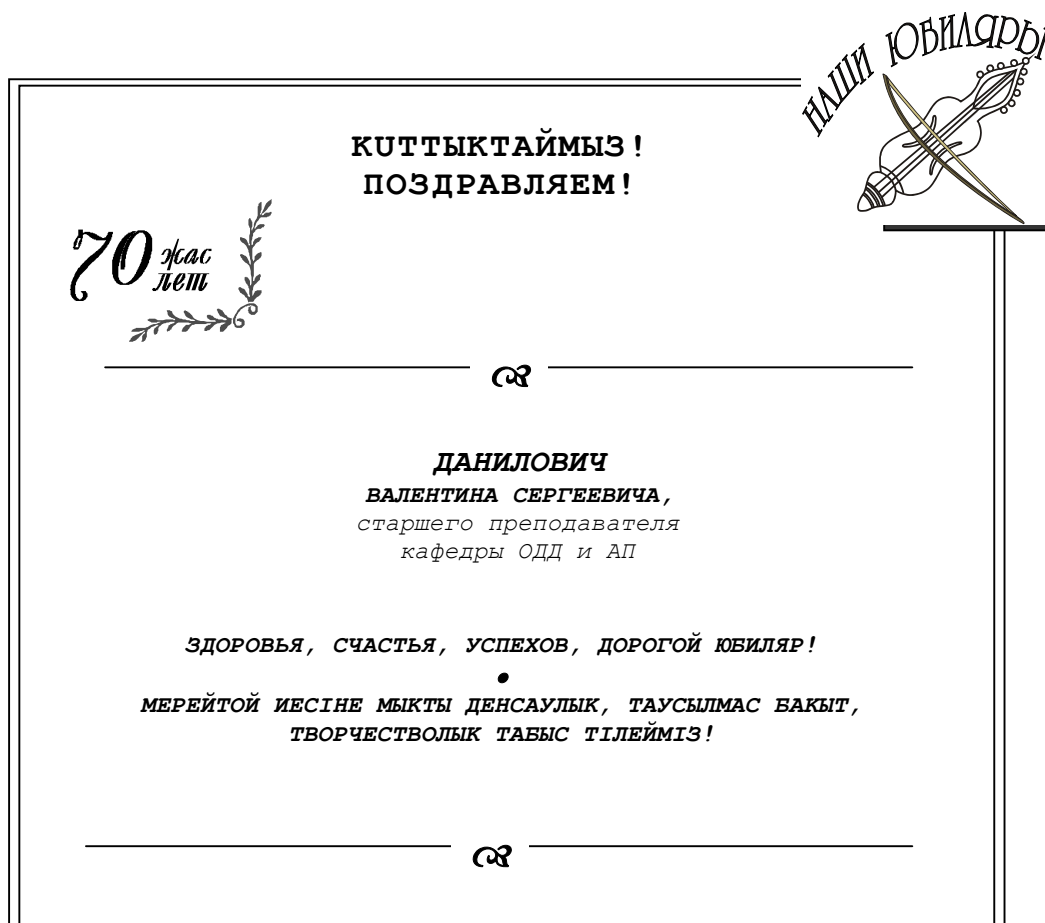
## Список литературы

1. Поспелов Г.Е. О некоторых возможностях электропередач с емкостной связью / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин // Электричество. - 1982. - № 7.
2. Ермуратский П.В. Расчет характеристик емкостного стержня в пазу ротора асинхронного двигателя / П.В. Ермуратский, А.В. Нетушил // Электричество. - 1984. - № 9.
3. Демирчян К.С. Синтез схем замещения катушки индуктивности с самокомпенсацией реактивной мощности / К.С. Демирчян, Г.Г. Гусев // Изв. АН СССР. Энергетика и



- транспорт. - 1987. - № 2.
4. Волков И.В. Учет тепловых режимов при оценке эффективности применения индуктонов в электротехнических устройствах / И.В. Волков, С.И. Закревский, И.И. Смолянский // Электричество. - 1989. - № 7.
  5. Reeves R. Choke-capacitor hybrid fluorescent lamp. - Proc. IEEE, 1975, vol.122, No 10.
  6. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. - М., Л.: Энергия, 1965.
  7. А.с.1350848 (СССР). Индукционная нагревательная установка / К.С. Демирчян, М.М. Соколов, А.Б. Кувалдин. - Оpubл. в Б.И.. - 1987, - №41.
  8. А.с.1538287 (СССР). Устройство для индукционного нагрева / М.М. Соколов, А.Б. Кувалдин, Г.Г. Гусев. - Оpubл. в Б.И.. - 1990. - № 3.
  9. А.с.1697282 (СССР). Индукционная нагревательная установка / К.С. Демирчян, А.Б. Кувалдин. - Оpubл. в Б.И.. - 1991. - №45.
  10. Предварительный патент №9858 (Казахстан), 2001. Многослойная обмотка индуктора / А.Б. Кувалдин, И.В. Захаров
  11. Предварительный патент №15220 (Казахстан), 2004. Индуктор для индукционного нагрева / В.Б. Утегулов, И.В. Захаров, А.Д. Ижикова

Получено 22.12.05.



УДК 621.396

**Ю.Н. Кликушин**

ОГТУ, г. Омск

**К.Т. Кошеков**

СКГУ, г. Петропавловск

**ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ ШКАЛА, РАЗДЕЛЯЮЩАЯ СЛУЧАЙНЫЕ И ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ**

Поведение сложных, особенно нелинейных, динамических систем часто внешне проявляется в изменении формы сигнала, генерируемого на одном из информационных выходов. Характерным примером в этом отношении могут служить различные фрактальные структуры, находящиеся в неравновесном состоянии. В работе [1] описана модель роста популяции (модель Ферхюльста), в которой численность особей колеблется около состояния равновесия, причем характер этих колебаний зависит от некоторого численного показателя, называемого параметром  $R$  роста. В частности, при  $R < 2$  процесс роста популяции всегда приближается к нужному устойчивому состоянию. Если же  $2 \leq R \leq 2\,449$ , возникают периодические колебания, форма которых постепенно усложняется с ростом параметра  $R$ , до тех пор, пока при  $R = 2\,570$  колебания вообще перестают быть периодическими, и в системе возникает, так называемый, детерминированный хаос.

При моделировании и при мониторинге реальных ситуаций требуется иметь определенные инструменты измерения эволюции качественных состояний подобных систем. К таким инструментам, в частности, относятся идентификационные шкалы (ИШ). Теория построения, свойства и примеры использования ИШ нашли отражение в ряде публикаций [2-5]. Однако описанные в этих работах ИШ, позволяя количественно оценивать форму распределения мгновенных значений некоторого процесса, не различают случайных сигналов от периодических. Другими словами, одинаковые показания ИШ могут быть получены, например, как при анализе синусоидального периодического сигнала, так и при анализе стационарного случайного процесса с арксинусным распределением вероятностей.

В данной работе описана ИШ, которая решает задачу измерения и автоматического разделения исследуемых сигналов на два основных класса – периодических и случайных.

Предлагаемая ИШ реализована в виде виртуального прибора (ВП) в среде LabVIEW – 7.1 в соответствии со структурной схемой, изображенной на рис. 1.

ВП содержит выпрямители 1 и 2 для выделения модуля сигнала и модуля приращений этого сигнала; два фильтра нижних частот (ФНЧ 1 и ФНЧ 2), выделяющих среднее значение модулей обоих каналов измерения, и делительное устройство, формирующее выходную величину, пропорциональную отношению изменения входного сигнала.

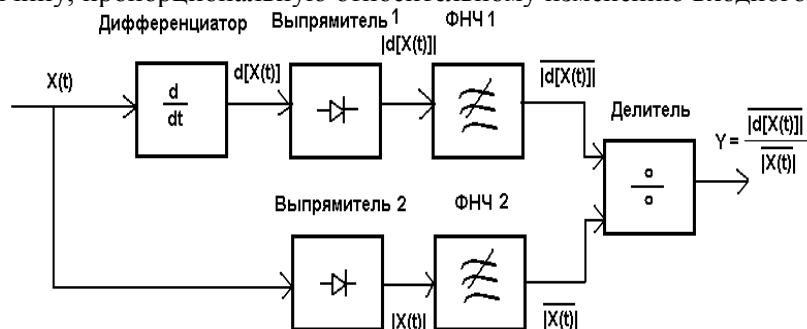


Рис. 1. Структурная схема виртуального прибора



При анализе случайных сигналов показания ВП пропорциональны форме распределения мгновенных значений – в соответствии с закономерностью, представленной в табл. 1.

Таблица 1.

Идентификационный Параметр	Вид распределения случайных сигналов						
	2mod	asin	even	simp	gaus	lapl	kosh
Y	1	1,27	1,33	1,40	1,41	1,5	1,8

Указанные оценки идентификационного параметра получены для объема выборки  $N=100\,000$  и усреднены по 100 реализациям для каждого распределения.

Особенностью рассматриваемого ВП является то, что периодические сигналы различной формы занимают ту часть шкалы, где значение идентификационного параметра  $0 \leq Y \leq 1$ .

На этом участке значение  $Y$  возрастает с увеличением частоты, что и отражено данными, представленными в табл.2 для трех основных форм (squ – прямоугольной, sin – синусоидальной, tri – треугольной) периодических сигналов.

Таблица 2.

Значение Y	Число периодов за время наблюдения для $N = 100\,000$						
	1	10	100	1000	10 000	20 000	25 000
Squ	0,00002	0,00038	0,0039	0,0399	0,39998	0,8333	0,9999
Sin	0,00006	0,00062	0,0062	0,06285	0,61803	-	-
Tri	0,00008	0,0008	0,008	0,08	0,66666	-	-

Ограничения на рост значения идентификационного параметра  $Y$  для синусоидально-го и треугольного сигналов связаны с тем, что при большом количестве периодов за время наблюдения, каждый период воспроизводится малым числом отсчетов. Поэтому первоначальная форма сигнала искажается так, что синусоидальный сигнал становится прямоугольным, а треугольный – синусоидальным. Полученные данные можно интерпретировать так, что при малом числе отсчетов (4-6) на периоде виртуальный прибор распознает любой периодический сигнал как случайный.

В качестве примера, иллюстрирующего «правильность» работы предлагаемого ВП, создадим базу, состоящую из группы периодических сигналов с разным числом периодов, но одинакового объема, и группы случайных сигналов с разными распределениями (2mod – двумодальным, asin – арксинусным, even – равномерным, simp – треугольным, gaus – нормальным, lapl – двусторонним экспоненциальным и kosh – Коши), как в табл. 1.

*Этап 1.* Для каждого сигнала измерим идентификационные параметры NF и Y, первый из которых не отличает классы периодических и случайных сигналов, и в произвольном порядке (случайно) занесем имена сигналов в базу. В результате получим неупорядоченную по именам сигналов реляционную БД (табл. 3).

Таблица 3.

№	FileName	NF	Y
1	sine-100	7,99992	0,006283
2	sine-16 660	7,99992	0,999634
3	asin	8,001445	1,273297

4	tri-1	11,99988	0,00008
5	tri-10	11,99988	0,0008
6	simp	23,79433	1,400004
7	tri-1000	11,99029	0,08

окончание табл. 3.

№	FileName	NF	Y
8	kosh	107 834	1,730472
9	squ-1	3,99996	0,00002
10	squ-10	3,99996	0,00038
11	sine-1000	7,99992	0,062852
12	squ-100	3,99996	0,00398
13	tri-100	11,99978	0,008
14	gaus	66,16088	1,411834
15	lapl	258,3656	1,499574
16	tri-5000	11,76459	0,4
17	sine-1	7,99992	0,000063
18	sine-10	7,99992	0,000628
19	squ-25 000	3,99996	0,99999
20	squ-1000	3,99996	0,03998
21	2mod	4,000008	1,000011
22	squ-10 000	3,99996	0,399984
23	even	12,00749	1,332923

Этап 2. Проведем сортировку БД по идентификационному параметру NF (табл.4).

Не трудно заметить, что в данном случае происходит группировка имен сигналов в соответствии с формой сигнала или его распределения. Например, имена периодических сигналов прямоугольной формы (squ) располагаются вблизи, но выше имени случайного сигнала с 2mod распределением синусоидальные сигналы (sine) группируются вблизи случайного сигнала с asin распределением, поскольку значение их идентификационного параметра NF практически равно значению того же параметра для случайного сигнала с asin распределением. Наконец, имена периодических сигналов треугольной формы (tri) группируются вблизи имени случайного сигнала с равномерным (even) распределением.

Таблица 4.

№	FileName	NF	Y
9	squ-1	3,99996	0,00002
10	squ-10	3,99996	0,00038
12	squ-100	3,99996	0,00398
20	squ-1000	3,99996	0,03998
22	squ-10 000	3,99996	0,399984
19	squ-25 000	3,99996	0,99999
21	2mod	4,000008	1,000011

17	sine-1	7,99992	0,000063
18	sine-10	7,99992	0,000628
1	sine-100	7,99992	0,006283
11	sine-1000	7,99992	0,062852
2	sine-16 660	7,99992	0,999634
3	asin	8,001445	1,273297

окончание табл. 4.

№	FileName	NF	Y
16	tri-5000	11,76459	0,4
7	tri-1000	11,99029	0,08
13	tri-100	11,99978	0,008
5	tri-10	11,99988	0,0008
4	tri-1	11,99988	0,00008
23	even	12,00749	1,332923
6	simp	23,79433	1,400004
14	gaus	66,16088	1,411834
15	lapl	258,3656	1,499574
8	kosh	107 834	1,730472

Этап 3. Проведем сортировку БД по идентификационному параметру Y (табл. 5).

Таблица 5.

№	FileName	NF	Y
9	squ-1	3,99996	0,00002
17	sine-1	7,99992	0,000063
4	tri-1	11,99988	0,00008
10	squ-10	3,99996	0,00038
18	sine-10	7,99992	0,000628
5	tri-10	11,99988	0,0008
12	squ-100	3,99996	0,00398
1	sine-100	7,99992	0,006283
13	tri-100	11,99978	0,008
20	squ-1000	3,99996	0,03998
11	sine-1000	7,99992	0,062852
7	tri-1000	11,99029	0,08
22	squ-10 000	3,99996	0,399984
16	tri-5000	11,76459	0,4
2	sine-16 660	7,99992	0,999634
19	squ-25 000	3,99996	0,99999
21	2mod	4,000008	1,000011
3	asin	8,001445	1,273297
23	even	12,00749	1,332923
6	simp	23,79433	1,400004
14	gaus	66,16088	1,411834

15	lapl	258,3656	1,499574
8	kosh	107 834	1,730472

В данном случае имеем две отдельные группы сигналов. Группа периодических сигналов располагается подгруппами (squ-sine-tri). В подгруппы входят сигналы с одинаковым числом периодов. Подгруппы расположены в соответствии с увеличением числа периодов от 1 до 25 000. Группа случайных сигналов (от 2mod до kosh) располагается ниже группы периодических в порядке, задаваемом табл.1. Границей раздела периодических и случайных сигналов является значение идентификационного параметра Y, равное 1.

Таким образом, подтверждается наличие у идентификационного параметра Y, измеряемого в соответствии со структурной схемой (рис. 1), свойства разделять периодические и случайные сигналы.

Разработанный ВП и технология его использования могут быть применены для решения задач диагностики и оперативного мониторинга биологических и технических объектов.

#### Список литературы

1. Пайтген Х.-О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. - Пер. с англ. / Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. - М.: Мир, 1993.
2. Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности // Интернет-журнал «Журнал радиоэлектроники». - М.: ИРЭ РАН, 2000. - №11(ноябрь).
3. Кликушин Ю.Н. Исследование эволюции бинарных смесей сигналов / Ю.Н. Кликушин, К.Т. Кошеков // Вестник КазНУ. Серия: математика, механика, информатика. - 2005. - №1(44). - Алматы, 2005. - С.88-93.
4. Кликушин Ю.Н. Метод и средства моделирования идентификационных шкал / Ю.Н. Кликушин, К.Т. Кошеков, Н.О. Рожкова // Труды КарГТУ. - 2005. - №1(18). - Караганда, 2005. - С.67-72.
5. Кошеков К.Т. Уточнение положения отметок идентификационной шкалы // Современные исследования в астрофизике и физико-математических науках: Мат. Межд. науч. - практ. конф. - Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2004. - С.224-229.
6. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. - Киев: Высшая школа, 1980.

Получено 9.11.05

УДК 621.869.2

**С.В. Ли, М.Н. Есенгалиев, Г.М. Ахметов**  
КазАТК, г. Алматы

#### ФОРМА РАБОЧЕГО ОРГАНА И УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрим рабочий орган (ротор) строительно-дорожной машины (СДМ) с планетарно-ротаторным движением (ПРД) рабочего органа (РО), который выполнен по взаимобгаемой циклоидальной кривой – гипотрохоиде. В контур, описываемый уравнением эпи-трохоиды (1),

$$\left. \begin{aligned} x &= R \left( \frac{1}{3} \cos 3\psi + c \cos \psi \right), \\ y &= R \left( \frac{1}{3} \sin 3\psi + c \sin \psi \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

вписывается правильный треугольник, вершины которого могут скользить по контуру (рис. 1).

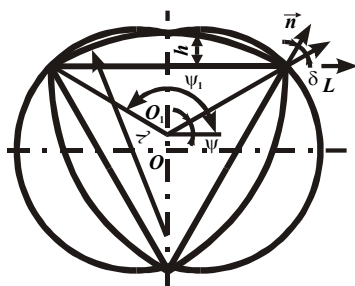


Рис. 1. К определению формы ротора

Рассмотрим хорду, соединяющую точки контура, соответствующие значениям параметра  $\psi$  и  $\psi_1 = \psi + \frac{2\pi}{3}$ . Три такие хорды образуют треугольник, вписанный в контур. Если длина хорды  $2b$  не зависит от  $\psi$ , то треугольник – правильный и произвольно ориентируется относительно контура, т.е. может поворачиваться внутри него.

Длина хорды

$$2b = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}.$$

Подставляя значение координат из уравнения (1), получаем

$$b = a \sin \frac{\pi}{3} = a \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (2)$$

Центр треугольника совпадает с центром подвижной окружности  $O_1$  (рис.1), расстояние от которого до любой вершины треугольника равно  $a$ . Поэтому при вращении треугольника вместе с подвижной окружностью вокруг центра  $O$  вершины треугольника скользят по контуру.

1. *Рабочий орган (ротор) представляет собой не прямолинейный, а криволинейный треугольник.* Боковая грань ротора может быть образована внутренней огибающей семейства эпитрохонд. При этом, в связи с определенными технологическими трудностями, можно профилировать грани ротора не по огибающим, а по дуге окружности.

Найдем радиус кругового сегмента, построенного на стороне равностороннего треугольника. Пусть этот сегмент касается контура, когда расстояние между серединой соответствующей стороны прямолинейного треугольника и контура будет минимальным.

Имеем  $\rho_{\min} = a - e$ .

Радиус окружности, вписанный в прямолинейный треугольник, определяется формулой

$$p = \frac{\sqrt{3}}{3} b = \frac{1}{2} a.$$

Минимальное расстояние между контуром и серединой стороны прямолинейного треугольника (рис. 1)

$$h = \rho_{\min} - e - p = \frac{a}{2} - 2e.$$

Радиус сегмента

$$\lambda = \frac{b^2 + h^2}{2h}$$

или



$$\lambda = \frac{(a-e)^2 + 3e^2}{a-4e} = R \frac{3c(3c-2)+4}{3(3c-4)}. \quad (3)$$

При  $c = \frac{4}{3}$   $a-4e=0$  и, следовательно,  $\lambda = \infty$ , т.е. треугольник – прямолинейный. При  $c < \frac{4}{3}$  получаем криволинейный вогнутый треугольник, при  $c > \frac{4}{3}$  – криволинейный выпуклый треугольник.

В связи с тем, что  $c \geq \frac{5}{3}$ , ротор может быть только выпуклым.

Площадь  $M_\kappa$  кругового сегмента радиуса  $\lambda$ , построенного на стороне ротора:

$$M_\kappa = \frac{\lambda^2}{2} (\alpha - \sin \alpha); \quad (4)$$

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{a\sqrt{3}}{2\lambda}. \quad (5)$$

Теперь рассмотрим профилирование ротора по огибающей.

Пусть эпитрохоида, выраженная уравнением (1), обкатывает с малой шестерней неподвижную большую шестерню. Подвижная система координат  $x_1, y_1$  связана с большой шестерней, причем начало подвижной системы  $O_1$  и начало неподвижной системы  $O$  расположены соответственно в центрах малой и большой шестерен.

Так как  $r : R = 2:3$ , прямая  $OO_1$  и ось  $O_1x_1$  образуют с осью  $Ox$  угол, который относится как 2/-1 (рис. 2).

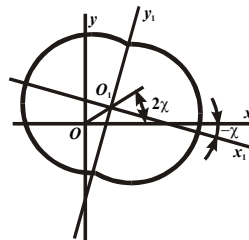


Рис. 2. К выводу уравнения семейства эпитрохоид

Поэтому уравнение семейства эпитрохоид, образующегося при обкатывании, можно записать в виде [2, 3]:

$$\left. \begin{aligned} x &= e \cos 2\lambda + x_1 \cos \lambda + y_1 \sin \lambda \\ y &= e \sin 2\lambda - x_1 \sin \lambda + y_1 \cos \lambda \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $x_1, y_1$  – координаты эпитрохоиды в подвижной системе, определяемые уравнением (1).

Чтобы получить уравнение огибающей этого семейства, нужно исключить один из параметров, решая систему уравнений, состоящую из уравнения (6) и Якобиана [4, 5]:

$$\frac{D(x, y)}{D(\psi, \lambda)} = 0. \quad (7)$$

После ряда преобразований и замены параметров получаем уравнение огибающей в параметрической форме:

$$\left. \begin{aligned} x_{oz} &= R \left( c \cos 2\lambda - \frac{1}{3c} \sin 6\lambda \sin 2\lambda + \frac{2}{3} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 3\lambda}{c^2}} \cos 3\lambda \cos 2\lambda \right), \\ y_{oz} &= R \left( c \sin 2\lambda + \frac{1}{3c} \sin 6\lambda \cos 2\lambda + \frac{2}{3} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 3\lambda}{c^2}} \cos 3\lambda \sin 2\lambda \right) \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Подставляя в уравнение огибающей (8) значение параметра от  $\lambda_1 = \pi$  до  $\lambda_2 = \frac{7}{6}\pi$ , получим координаты половины дуги внешней огибающей; подставляя значения параметров от  $\lambda_1 = 0$  до  $\lambda_2 = \frac{\pi}{2}$ , получим координаты дуги внешней огибающей.

Площадь огибающей может быть определена по формуле

$$\Theta = 3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left( \lambda \frac{dy}{d\lambda} - y \frac{d\lambda}{d\lambda} \right) d\lambda.$$

Дифференцируя уравнение (8), производя соответствующие преобразования и интегрируя в пределах от  $\lambda_1 = \pi$  до  $\lambda_2 = \frac{7}{6}\pi$ , получаем площадь внутренней огибающей:

$$\Theta_{в.о.} = R^2 \left[ \left( \frac{2}{9} + c^2 \right) \pi - 2\sqrt{c^2 - 1} - \frac{2}{3} (2 + c^2) \arcsin \frac{1}{c} \right]. \quad (9)$$

Интегрируя в пределах от  $\lambda_1 = 0$  до  $\lambda_2 = \frac{\pi}{6}$ , получаем площадь внешней огибающей:

$$\Theta_{вн.о.} = R^2 \left[ \left( \frac{2}{9} + c^2 \right) \pi + 2\sqrt{c^2 - 1} + \frac{2}{3} (2 + c^2) \arcsin \frac{1}{c} \right]. \quad (10)$$

Площадь  $M_o$  сегмента, построенного на стороне ротора в случае профилирования по огибающей, найдем, вычитая из площади внутренней огибающей площадь прямолинейного треугольника:

$$M_o = \frac{1}{3} \left( \Theta_{в.о.} - \frac{3a^2 \sqrt{3}}{4} \right).$$

## 2. Угол отклонения режущих элементов рабочего органа.

На работу режущих элементов рабочих органов машин с ПРД большое влияние оказывает максимальное значение угла  $\delta$  между нормалью к контуру РО и осью режущего элемента, совпадающей с биссектрисой угла при вершине ротора (рис. 1). Малые значения  $\delta_{\max}$  приводят к увеличению износа режущих элементов.

Для нахождения угла  $\delta$  отклонения режущих элементов используем свойства векторного произведения.

Дифференцируя векторное уравнение контура РО [1], получаем вектор, касательный к контуру:

$$\vec{\tau} \{ -R(\sin 3\psi + c \sin \psi), R(\cos 3\psi + c \cos \psi) \}. \quad (11)$$

Вектор, нормальный к контуру, может быть задан в виде:

$$\vec{n}\{R(\cos 3\psi + c \cos \psi), R(\sin 3\psi + c \sin \psi)\}. \quad (12)$$

Модуль этого вектора

$$|n| = R\sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi}. \quad (13)$$

Ортогональность векторов  $\vec{\tau}$  и  $\vec{n}$  следует из того, что их скалярное произведение равно нулю [6].

Единичный вектор, направленный по биссектрисе угла ротора, запишем в виде

$$\vec{L}\{\cos \psi, \sin \psi\}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \frac{|\vec{L}^o \times \vec{n}|}{|n|} = \frac{|R(\cos 3\psi + c \cos \psi), R(\sin 3\psi + c \sin \psi)|}{R\sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi}} = \\ &= \frac{\sin 2\psi}{\sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi}}, \end{aligned} \quad (14)$$

отсюда

$$\delta = \arcsin \frac{\sin 2\psi}{\sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi}}. \quad (15)$$

Обозначим  $\psi_1$  значение параметра  $\psi$ , соответствующее экстремуму  $\delta$  (или  $\sin \delta$ ) [5]:

$$\begin{aligned} \frac{d \sin \delta}{d \psi} &= \frac{2 \cos 2\psi_1 \sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi_1} + \frac{2c \sin^2 2\psi_1}{\sqrt{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi_1}}}{1 + c^2 + 2c \cos 2\psi_1} = \\ &= \frac{2 \cos 2\psi_1 (1 + c^2 + 2c \cos 2\psi_1) + 2c \sin^2 2\psi_1}{(1 + c^2 + 2c \cos 2\psi_1)^{3/2}} = 0. \end{aligned}$$

Приравнявая к 0 числитель последней дроби, получаем

$$\begin{aligned} \cos^2 2\psi_1 + \frac{1 + c^2}{c} \cos 2\psi_1 + 1 &= 0; \\ \cos 2\psi_1 &= -\frac{1}{c}. \end{aligned}$$

Следовательно

$$\sin 2\psi_1 = \frac{\pm \sqrt{c^2 - 1}}{c}.$$

Подставляя эти выражения в формулу (15), получаем

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\max} &= \arcsin \frac{1}{c} \\ \delta_{\min} &= -\arcsin \frac{1}{c} \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

#### Список литературы

1. Ли С.В. Уравнение теоретического контура рабочего органа машины / С.В. Ли, В.С. Шин // Вестник КазАТК. - №4. - Алматы, 2004. - С. 20-22.
2. Колонтаев Б.П., Бочаров В.С., Ли С.В. Новые рабочие органы для разрушения прочных грунтов: Сб. Механизация и автоматизация земляных работ. - Киев: КИСИ, 1991. - С.117 - 119.

3. Ли С.В. Геометрические характеристики рабочих органов строительно-дорожных машин с планетарным движением / С.В. Ли, Р.Н. Таукелев, Е.Б. Мусабаев // Вестник КазАТК. – №5. Алматы, 2003. – С. 9-13.
4. Камкэ Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1976. – 676 с.
5. Делоне Б.Н. Аналитическая геометрия. Ч.1, Ч.2. / Б.Н. Делоне, Д.А. Райков. – М.: Гостехиздат, 1949. – 537 с.
6. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука. 1970. – 720 с.

Получено 26.12.05

УДК 62-192

**М.С. Муздыбаев, Ж.О. Кульсеитов**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотрим некоторую техническую систему, состоящую из конечного числа подсистем и элементов. Пусть каждая подсистема представляет собой функционально ориентированный модуль, состоящий в свою очередь из элементов и (или) групп элементов, объединяемых в некоторый блок. Для систематизации основных понятий под модулем предложено понимать некий агрегат, представляющий совокупность взаимодействующих элементов, самостоятельно выполняющий назначенные функции по преобразованию (сохранению) энергии. Тогда блоком следует именовать механизм (узел) как совокупность взаимодействующих элементов, предназначенных для передачи энергии без ее преобразования либо управления процессом ее передачи. На основе системного подхода каждый из таких модулей и блоков можно рассматривать самостоятельно как некоторую техническую систему.

Предложен ряд конструктивных и функциональных требований, которым должен отвечать каждый конструктивный модуль:

- выполнять полный цикл преобразования энергии одного вида в другой вид с целью последующей передачи;
- обеспечивать обратную связь в процессе преобразования энергии одного вида в другой вид;
- быть приспособленным к преобразованию энергии с соблюдением требований безопасности;
- быть самодостаточным с точки зрения структурного построения и функционирования;
- иметь собственные структурные единицы управления процессом преобразования энергии;
- быть адаптивным по отношению к работе внешних систем;
- иметь конечные геометрические размеры и массу;
- базироваться на опоре унифицированного типа;
- иметь разъем унифицированного типа для связи с энергоносителем на входе в модуль;

- иметь разъем унифицированного типа для связи с энергопотребителем на выходе модуля;
- иметь разъем унифицированного типа для приема управляющих воздействий и информации;
- иметь разъем унифицированного типа для передачи управляющих воздействий и информации;
- адекватно реагировать на поступающие управляющие воздействия;
- передавать информацию о параметрах процесса преобразования энергии.

Поглощение модулем одного вида энергии следует трактовать в соответствии с законом сохранения энергии как ее преобразование в другой вид энергии.

Кроме того, сформулирован ряд предлагаемых конструктивных и функциональных требований, которым должен отвечать каждый конструктивный блок:

- передавать энергию либо управлять процессом ее передачи без преобразования ее вида;
- обеспечивать обратную связь в процессе передачи энергии либо управления процессом ее передачи;
- быть приспособленным к передаче энергии либо управления процессом ее передачи с соблюдением требований безопасности;
- быть автономным по отношению к работе внешних систем;
- иметь конечные геометрические размеры и массу;
- иметь разъем унифицированного типа для связи с энергоносителем на входе в блок;
- иметь разъем унифицированного типа для связи с энергопотребителем на выходе блока.

Указанные требования к подсистемам некоторой технической системы могут служить основой для создания машины блочно-модульной конструкции.

Главное достоинство указанных требований заключается в реализации системного подхода к созданию машин, которым будет присуще:

- полная унификация отдельных конструктивных компонентов машины – позволит повысить количество вариантов компоновки машины из унифицированных блоков и модулей;
- повышение удобства монтажа и демонтажа технической системы их унифицированных блоков и модулей – упрощается технологический процесс сборки и разборки машины;
- сокращение времени изъятия и установки отдельного блока или модуля – повышает ремонтопригодность машины при условии отсутствия необходимости ремонтировать сам блок либо модуль.

С одной стороны, это существенно упрощает производство машины с позиций унификации ее компонентов. Существенное расширение модельного ряда машины достигается при использовании принципов комбинаторики при базировании на едином (типовом) несущем элементе (платформе). Разработка подобного модельного ряда является менее дорогостоящей, что позволяет снизить себестоимость разработки и производства машины.

С другой стороны, это позволит существенно повысить коммерческую привлекательность машины за счет расширения гаммы моделей по критерию комплектации в соответствии с функциональным назначением, повысить универсальность машины как шасси, способного трансформироваться с использованием дополнительных компонентов (моди-

фикации машины с заменяемыми рабочими органами).

При условии обеспечения высокой надежности конструктивных модулей и блоков сокращается объем эксплуатационных затрат на поддержание работоспособности машин. Унификация блоков и модулей упрощает технологию монтажно-демонтажных работ и облегчает техническое содержание машин. Отказ от необходимости ремонта блоков и модулей позволит отказаться от содержания дорогостоящей ремонтной базы на предприятиях в сфере эксплуатации.

Кроме того, обеспечение высокой безотказности и равной долговечности блоков и модулей с ресурсом машины при условии отказа от их ремонта позволит достичь высокой надежности машины и обеспечить ее высокую конкурентоспособность.

Для задания требований к надежности блоков и модулей машины необходимо учитывать характер ее технического содержания в эксплуатации. При эксплуатации машин блочно-модульной конструкции неизбежно возникнет поток отказов блоков и модулей, требований ремонта с целью восстановления работоспособности машины путем их замены. Целесообразно отказаться от обязательной процедуры ремонта самих блоков и модулей. Это позволит сократить ремонтные работы, снизить потребность в технологическом оборудовании.

Условно примем, что блоки и модули состоят из деталей сопоставимой долговечности с минимальной разницей значений наработок до отказа. Предложено называть их деталями равной долговечности. Тогда при отказе одной из деталей блока или модуля все остальные детали находятся в предотказном состоянии. Ремонтировать такой блок или модуль экономически невыгодно. Достаточно будет обеспечить технологический процесс замены отказавших блоков и модулей. В таком случае эксплуатационные предприятия могут не иметь комплексную, дорогостоящую, высокотехнологичную базу, необходимую для выполнения ремонтных работ, а также не содержать высококвалифицированный персонал ремонтников.

Известно, что при каждом разъединении деталей существующих агрегатов (узлов) нарушается характер сопряжения их приработанных поверхностей. В период ввода агрегата в эксплуатацию после ремонта неизбежен новый процесс приработки сопрягаемых поверхностей замененных и попутно извлекавшихся деталей, сопровождающийся их интенсивным износом. С позиций обеспечения долговечности агрегатов и узлов машин, а также снижения затрат на поддержание их эксплуатационной надежности важно сократить до минимума количество разборочно-сборочных работ.

Предложено формировать безотказность отдельно взятого блока (модулей) на основе оценки ресурсных показателей входящих в него элементов. С учетом того, что функциональная модель безотказности блока (модуля), как правило, представляет собой техническую систему из  $M$  последовательно соединенных элементов, то средняя наработка блока на отказ оценивается по известной формуле [1]:

$$T_{\text{до бл}} = \int_0^{\infty} P_{\text{бл}}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^M P_{\text{д}_i}(t) dt, \quad (1)$$

где  $P_{\text{д}_i}(t)$  - вероятность безотказной работы  $i$  элемента  $j$  блока.

Тогда средняя наработка системы из  $N$  блоков на отказ будет определяться как

$$T_{\text{до}} = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N P_{\text{бл}_i}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^M P_{\text{д}_{ij}}(t) dt. \quad (2)$$

При этом средняя наработка системы на отказ оценивается формулой

$$T_{\text{но}} = \frac{t_2 - t_1}{\Omega_u(t_2) - \Omega_u(t_1)}, \quad (3)$$

где  $\Omega_u(t)$  – ведущая функция потока отказов технической системы [2]

$$\Omega_u(t) = \sum_{i=1}^N \Omega_{\bar{o}l_i}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Omega_{\bar{o}l_{ij}}(t), \quad (4)$$

где  $\Omega_{\bar{o}l_i}(t)$  – ведущая функция потока отказов  $i$  элемента  $j$  блока.

С учетом предлагаемой модели обеспечения сопоставимой долговечности деталей рассматриваемого блока с целью его замены в сборе значение ведущей функции потока отказов блока будет равно значению ведущей функции потока отказов наименее надежной детали блока

$$\Omega_{\bar{o}l_i}(t) = \Omega_{\bar{o}l_{ij_{\text{критич}}}}(t). \quad (5)$$

При этом средняя наработка блока на отказ будет равна

$$T_{\text{но}_i} = \frac{t}{\Omega_{\bar{o}l_i}(t)}. \quad (6)$$

Установлено, что чем выше качество каждого из элементов блока, тем меньше рассеивание ресурсов блока. Для снижения показателя недоиспользованного остаточного ресурса деталей блока необходимо максимально повысить концентрацию ресурсов деталей в окрестностях среднего значения. Теоретически это достижимо путем повышения стабильности технологии изготовления и сборки блоков. При этом блок, имеющий собственные ресурсные показатели, сам является элементом по отношению к вышестоящему иерархическому делению технической системы на подсистемы и элементы.

Поскольку ресурсные показатели блока (модуля) могут отличаться друг от друга, то с целью сокращения количества демонтажных операций и разъединений приработанных пар сопряженных деталей, блоки должны иметь рационально заложенный ресурсный потенциал. Блоки деталей, расположенные на более глубоком уровне разборки машины либо агрегата (модуля), должны иметь больший ресурс. С учетом дискретности количества ремонтов, ресурсы глубже расположенных блоков должны иметь средний ресурс больше в целое число раз по отношению к ближайшему поверхностному уровню разборки агрегата (модуля), машины.

Последовательность технологических уровней разборки предполагает, что наименьший ресурс более глубоко расположенного блока должен быть равен либо быть больше самого долговечного блока поверхностного уровня в  $z$  раз. Причем на каждом уровне разборки агрегата (машины) целесообразно обеспечить равный ресурс блоков. Это позволит существенно сократить количество ремонтов технической системы и снизить затраты на поддержание ее надежности. Тогда ресурс блоков каждого следующего  $j$  уровня разборки машины будет кратен ресурсу наиболее безотказного блока, расположенного на первом уровне разборки машины,

$$\bar{T}_{\bar{o}l_k} = \bar{T}_{\bar{o}l_1} \prod_{l=1}^k z_l. \quad (7)$$

Поскольку ресурсные показатели отдельных блоков и модулей на одном технологическом уровне разборки машины могут отличаться, то их следует объединять в группы блоков совместных замен. При объединении подобных блоков в группу совместных замен во

внимание следует принимать ресурсный фактор. Эффективность использования каждой системы замен блоков и модулей, а также выявление оптимальной РТР производится на основе оценки затрат  $C_{nn}(t)$  на поддержание эксплуатационной надежности машин в функции продолжительности их использования  $t$

$$C_{nn_u}(t) = \sum_{i=1}^N C_{nn_i}(t), \quad (8)$$

где  $C_{nn_i}$  – затраты на устранение отказа  $i$  блока ( $i=1 \dots N$ ).

Для определения затрат, связанных с заменой  $i$  блока, предложено использовать выражение вида

$$C_{nn_i}(t) = C_{отк_i} \Omega_{\delta_{\text{бл}_i}}(t), \quad (9)$$

где  $\Omega_{\delta_{\text{бл}_i}}(t)$  – ведущая функция потока отказов  $i$  блока;

$C_{отк}$  – это средняя стоимость устранения отказа, определяемая с учетом стоимости блока, расхода материалов, трудовых затрат и средней стоимости компенсации простоя машины при устранении отказа

$$C_{отк_i} = C_{\delta_{\text{бл}_i}} + C_{\text{мат}_i} + C_{\text{труд}_i} + C_{\text{прост}_i}. \quad (10)$$

В отношении стоимости заменяемых блоков  $C_{\delta_{\text{бл}_i}}$  следует учесть, что предприятие-изготовитель, ориентируясь на конкретный рынок сбыта своей продукции, в соответствии с требованиями ИСО 9000 должно обеспечить функционирование системы сервиса своей продукции и наладить материально-техническое снабжение рынка для потенциального потребителя. Если предприятие не собирается самостоятельно обеспечивать рынок реализации своей продукции материально-техническими ресурсами, то должно быть предусмотрено сервисное обслуживание региональными представителями либо местными производителями. В связи с этим при прогнозировании затрат на поддержание эксплуатационной надежности машин необходим дифференцированный учет стоимости запасных частей, а также оценка их ресурсных показателей.

При условии неизменности технологии ремонтных работ расход материалов  $C_{\text{мат}_i}$  для конкретного вида отказа можно считать условно постоянной величиной. Однако предлагаемый широкий выбор материалов в условиях рыночной экономики также предполагает введение дифференцированного учета их стоимости.

Поскольку устранение отказа – есть технологический процесс, определяемый техническими условиями еще на стадии создания изделия, то трудовые затраты для устранения отказа следует определять исходя из технологической сложности и трудоемкости работ с учетом квалификации привлекаемого исполнителя как

$$C_{\text{труд}_i} = \delta_{\tau_i} \tau_{отк_i}, \quad (11)$$

где  $\delta_{\tau_i}$  – стоимость 1 чел-ч работ при устранении  $i$ -го отказа, тенге/чел-ч;

$\tau_{отк_i}$  – трудоемкость устранения  $i$ -го отказа, чел-ч.

Если учесть, что при устранении отказа часть работ выполняется на ремонтных постах и на специализированных участках, то выражение (11) следует трансформировать как

$$C_{\text{труд}_i} = \delta_{\text{пост}_i} \tau_{\text{пост}_i} + \delta_{\text{уч}_i} \tau_{\text{уч}_i}, \quad (12)$$

где  $\delta_{\text{пост}_i}$  – стоимость 1 чел-ч постовых работ при замене  $i$ -й детали, тенге/чел-ч,

$\tau_{\text{пост}_i}$  – трудоемкость постовых работ при замене  $i$ -й детали, чел-ч.



$\delta_{уч_i}$  – стоимость 1 чел-ч участковых работ при замене  $i$ -й детали, тенге/чел-ч,

$\tau_{уч_i}$  – трудоемкость участковых работ при замене  $i$ -й детали, чел-ч.

С учетом предлагаемого сокращения ремонтных работ по восстановлению работоспособности снимаемых сборочных единиц (узлов) в виде конструктивных блоков регламентированной долговечности при определении стоимости трудовых затрат следует учитывать только трудоемкость постовых работ

$$C_{труд_i} = \delta_{пост_i} \tau_{пост_i} . \quad (13)$$

Регламентируя способ и технологию восстановления работоспособности машины, категорию сложности выполняемых работ и минимально необходимую квалификацию исполнителя, т.е. устанавливая трудоемкость работ и тариф оплаты труда, становится возможным прогнозировать трудовые затраты  $C_{труд_i}$ . Например, при механизации части постовых работ без изменения тарифа оплаты труда либо при одновременном его снижении вследствие понижения требуемой квалификации исполнителей для оставшейся части ручного труда. При этом в состав экономии затрат войдет стоимость участковых работ.

$$\Delta C_{труд_i} = \delta_{уч_i} \tau_{уч_i} . \quad (14)$$

Организация ремонтных работ характеризуется не только трудоемкостью ремонтных работ, но и условиями транспортировки машины к месту ремонта, а также временем ожидания ремонта. При этом необходимо учесть дополнительную составляющую, обусловленную требованием рыночной экономики – штраф (пеня), отражающую ответственность подрядчика за срыв принятых по контракту обязательств. По сути, эта составляющая в совокупности с остальными будет формировать эксплуатационные затраты подрядчика. Иначе говоря, надежность машины будет влиять на ее конкурентоспособность не только с позиций совокупных затрат на восстановление ее работоспособности, но и с позиций ее безотказности.

Тогда стоимость простоя машины в ремонте будет определяться как

$$C_{прост_i} = \delta_{прост_i} (\tau_{пост_i} + \tau_{уч_i} + \tau_{транс_i} + \tau_{ож_i}) + \delta_{транс_i} \tau_{транс_i} + C_{штраф_i} , \quad (15)$$

где  $\delta_{прост_i}$  – стоимость 1 часа простоя машины при замене  $i$ -й детали, тенге/ч;

$\tau_{ож_i}$  – продолжительность ожидания ремонта машины при замене  $i$ -й детали, ч;

$\delta_{транс_i}$  – стоимость 1 часа транспортировки машины к месту ремонта, тенге/ч;

$\tau_{транс_i}$  – продолжительность транспортировки машины к месту ремонта, ч;

$C_{штраф_i}$  – стоимость штрафа (неустойки по контракту), тенге.

С учетом экономии времени участковых работ, а также обеспечения высокой безотказности стоимость простоя машины составит

$$C_{прост_i} = \delta_{прост_i} (\tau_{пост_i} + \tau_{транс_i} + \tau_{ож_i}) + \delta_{транс_i} \tau_{транс_i} + C_{штраф_i} . \quad (16)$$

При этом дополнительная экономия составит

$$\Delta C_{прост_i} = \delta_{прост_i} \tau_{уч_i} . \quad (17)$$

Тогда выражение (8) примет вид

$$C_{ну}(t) = \sum_{i=1}^N C_{отк_i} \Omega_{б_i}(t) . \quad (18)$$

В соответствии с технико-экономическим методом определения оптимальной долго-

вечности машин [2] целевая функция оценки суммарных удельных затрат на приобретение технической системы (машины) и на поддержание ее надежности в эксплуатации примет вид

$$C_{y\partial u}(t) = \frac{C_u + \sum_{i=1}^N C_{omk_i} \Omega_{\partial l_i}(t)}{t} \rightarrow \min. \quad (19)$$

Из указанного выражения численными методами определяется минимум суммарных удельных затрат  $C_{y\partial min}$  и соответствующий ему оптимальный ресурс  $t_{onm}$ . При этом уровень надежности системы (машины) [3] равен

$$n = \frac{C_u}{\sum_{i=1}^N C_{omk_i} \Omega_{\partial l_i}(t_{onm})}. \quad (20)$$

После несложных преобразований выражение (19) примет вид

$$C_{y\partial min} = C_{y\partial u}(t_{onm}) = \frac{C_u}{t_{onm}} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{omk_i}}{T_{no_i}}, \quad (21)$$

где  $T_{no_i}$  – средняя наработка  $i$  блока на отказ за период эксплуатации  $t_{onm}$ .

Для повышения уровня надежности машин необходимо оптимизировать распределение совокупных затрат  $C_{y\partial}(t)$  на изготовление машины и на поддержание ее надежности. Выражение (21) в прямом виде отражает связь суммарных удельных затрат  $C_{y\partial}(t)$  по рассматриваемой технической системе с безотказностью ее блоков. При этом из анализа формулы следует, что чем выше значение  $T_{no_i}$ , тем меньше затрат потребуются на восстановление работоспособности машины при замене  $i$  блока. Таким образом, прогнозируемые значения затрат на восстановление работоспособности машин неразрывно связаны с безотказностью и долговечностью каждого ее блока либо модуля.

При этом детали блоков с избыточной долговечностью можно заменить другими с наработкой не менее чем средняя наработка блока на отказ. Высвобождаемые при таком подходе средства (финансы) можно инвестировать в недостаточно долговечные детали. При этом появляется возможность выбора более качественных сортов материалов, более эффективных методов их обработки. Принято допущение, что объем высвобождаемых средств будет равен объему инвестиций в улучшение надежности деталей. В таком случае стоимость изготовления машины не изменится, но будут сокращены затраты на поддержание надежности машины в эксплуатации. В результате, суммарные удельные затраты  $C_{y\partial}(t)$  будут снижаться.

Таким образом, принцип повышения надежности машины блочно-модульной конструкции состоит в обеспечении сопоставимой (условно равной либо кратной) долговечности деталей в составе каждого из ее модулей и блоков, минимизации трудоемкости их замены, а также сокращения остаточного ресурса входящих в состав блока элементов. При этом появляется возможность значительного упрощения конструкции блока и ее более компактного исполнения, т.к. нет необходимости обеспечивать удобство выполнения демонтажа самого блока после его снятия с машины.

#### Список литературы

1. Гнеденко Б.В. Надежность и эффективность в технике / Математические методы в тео-

- рии надежности и эффективности: Справочник. В 10 т., Т. 2. / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
2. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Общие понятия. Термины и определения.
  3. Шейнин А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации. М.: Знание, 1977. – Ч.1. – 68 с.; Ч.2. – 43 с.

Получено 08.11.05.

## СТАДИОН ВЫРАБАТЫВАЕТ ЭНЕРГИЮ

Крытый стадион в пригороде Берна (Швейцария) превращается в солнечную электростанцию. На его крыше смонтированы солнечные панели общей мощностью 850 киловатт. Когда они займут всю крышу (ее площадь 10 тысяч квадратных метров), мощность стадиона достигнет 1300 киловатт, что позволит снабжать энергией около 300 односемейных коттеджей или квартир.

«Наука и жизнь» № 1, 2005

УДК656.13:656.052

**А.И. Недобитков**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРИЧИННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПРЕВЫШЕНИЕМ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ И НАСТУПИВШИМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ

Судебная экспертиза (согласно Закону Республики Казахстан «О судебной экспертизе») – это исследование материалов уголовного, гражданского или административного дела, проводимое на основе специальных научных знаний в целях установления обстоятельств, имеющих значение для его разрешения. Таким образом, законодатель определил, что фундаментом экспертного исследования, проводимого в рамках уголовного дела или в процессе производства по административному материалу, являются научные знания.

Т.В. Аверьяновой предложена система методов общей теории судебной экспертизы, которая включает такие общенаучные методы, как наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование, математические, идеализацию и аксиоматизацию [1]. В свою очередь, каждый имеет свои специальные методы.

Одним из эффективных средств доказывания по делам о происшествиях (ДТП) является заключение судебной экспертизы обстоятельств ДТП. Научную основу экспертизы обстоятельств ДТП составляют специальные знания эксперта в области высшей математики, теоретической механики, теории автомобиля, инженерной психологии, трассологии и т.д.

Устанавливая на основании проведенного исследования причинную связь между отдельными обстоятельствами ДТП, эксперт может сделать вывод о причине и необходимых условиях его возникновения. Необходимо указать, что в настоящей статье под на-



ступившими последствиями подразумевается ДТП.

Как показано в работе [2], в экспертной практике наиболее часто установление причинной связи между несоответствующими требованиям ПДД действиями водителей и происшествием производится:

- при превышении водителем скорости движения транспортного средства;
- несвоевременном принятии им мер к предотвращению происшествия;
- применении маневра вместо торможения или экстренного торможения вместо плавного снижения скорости;
- неправильно выбранной дистанции, неправильно избранном интервале;
- эксплуатации неисправного транспортного средства.

Н.М. Кристи отмечает, что вывод о том, что причиной происшествия (с технической точки зрения) является превышение водителем допустимой скорости движения, эксперт может сделать при условии, что в дорожной обстановке, сложившейся к моменту возникновения опасности для движения, при допустимой скорости водитель имел техническую возможность остановить транспортное средство до линии движения препятствия. В работе [2] также указывается, что если водитель не располагал технической возможностью предотвратить ДТП при допустимой скорости движения, то вывод об отсутствии причинной связи между превышением скорости и происшествием эксперт может сделать лишь при условии, что и при допустимой скорости движения были бы последствия такой же степени тяжести, что и при избранной водителем скорости. Но поскольку отсутствуют научно обоснованные и достаточно апробированные данные о степени тяжести последствий в зависимости от скорости движения автомобиля в момент удара, то Н.М. Кристи не рекомендует давать вывод об отсутствии причинной связи между превышением скорости и происшествием, даже если исследование показывает, что водитель не имел технической возможности предотвратить наезд и при допустимой скорости, но мог существенно снизить скорость движения к моменту удара. К сожалению, Н.М. Кристи в работе [2] не приводит алгоритма расчета с указанием последовательности применения тех или иных аналитических зависимостей, что привело к различному подходу к решению данного вопроса. Для простоты и доступности изложения рассмотрим, как проводится определение технической возможности предотвращения наезда на пешехода при допустимой скорости движения по рекомендациям [3] и [4], а также в программном комплексе «НАСТ», апробированных и утвержденных Центром судебной экспертизы Республики Казахстан.

В работе [3] отмечается, что под допустимой скоростью транспортного средства имеется в виду скорость, не превышающая установленные ограничения, или соответствующая условиям видимости дороги, или условиям движения без потери устойчивости. В вышеуказанной работе (в разделе 5.1.2) отмечается, что техническая возможность предотвращения наезда при допустимой скорости движения путем торможения определяется сопоставлением  $S_{од}$  и  $S_a$ . Если  $S_{од} < S_a$ , то делается вывод о наличии технической возможности; при  $S_{од} > S_a$  – об отсутствии такой возможности; если же  $S_{од} = S_a$ , то делается вероятный вывод: мог не иметь. Как отмечается в «списке исходных данных» этой работы,  $S_a$  – это удаление транспортного средства от места наезда в момент начала движения пешехода на заданном расстоянии, а  $S_{од}$  – остановочный путь транспортного средства при допустимой скорости движения. Аналогичный подход к решению задачи имеется и в работе [4]. При анализе наезда в условиях ограниченной видимости расстояние видимости ( $S_v$ ) задается в качестве исходных данных, кроме того, принимают, что  $S_v = S_a$  и методики

[3] и [4] дают результат, соответствующий реальному механизму ДТП. При наезде на пешехода при неограниченной видимости параметры  $S_{од}$  и  $S_a$ , как правило, определяются экспертом расчетным путем и практически никогда не задаются в качестве исходных данных для проведения экспертного исследования.

Работы [3] и [4] основаны на итогах всесоюзных научных конференций по вопросам автотехнической экспертизы в Харькове (1966 г.) и в Минске (1973 г.), где рекомендовалось при установлении причинной связи между превышением скорости и наездом на пешехода, в логической операции по установлению причинной связи оставлять без изменения существенные черты механизма происшествия и изменять лишь одно условие – скорость (принимать для расчета допустимую скорость движения).

Но, как тезисно отмечается в работе [5], сопоставление  $S_a$  при фактической скорости и  $S_{од}$  при допустимой бессмысленно с технической точки зрения, так как остановочный путь при допустимой скорости движения к реальному механизму ДТП отношения не имеет. Таким образом, сопоставление  $S_a$  при фактической скорости и  $S_{од}$  при допустимой скорости движения транспортного средства есть решение некоторой абстрактной задачи, которое выдается за исследование механизма конкретного ДТП [5]. Но в работе [5] И.Е. Воронин ограничивается лишь констатацией данного факта, не давая ему научного обоснования. Практика же расследования и судебного разбирательства по делам о ДТП указывает на настоятельную потребность углубленной разработки общетеоретических, методологических основ экспертизы обстоятельств ДТП и доказательственной стороны заключения эксперта по исследованию механизма ДТП.

Проиллюстрируем данное положение, используя такие признанные судебной экспертизой общенаучные методы, как математические, сравнение и моделирование.

Решение многих задач, связанных с соударением тел, сопряжено с рядом объективных трудностей (скоротечность процесса, невозможность повторного воспроизведения реального процесса и т.д.). В связи с этим экспериментальные методы исследования, основанные на моделировании процессов, приобретают особую роль [6]. Моделирование находит применение как метод познания, исследования и расчета в различных областях науки и практической деятельности. Понятие о подобии физических явлений для частного случая (движение твердых тел) было сформулировано еще Ньютоном. В 1848 г. из общих дифференциальных уравнений движения физических тел Бертран вывел первую теорему подобия, которая определяется следующим образом: необходимым условием подобия двух систем является равенство соответствующих критериев подобия этих систем, составленных из обобщенных координат и параметров систем. В 1914 г. Букингем доказал вторую основную теорему подобия – так называемую  $\Pi$ -теорему, которая формулируется следующим образом: функциональная зависимость между характеризующими процесс величинами может быть представлена в виде зависимости между составленными из них критериями подобия [7]. В работах ученых М.В. Кирпичева и А.А. Гухмана впервые была сформулирована третья теорема подобия [7] (или теорема о достаточных условиях подобия), которая доказывает, что достаточным условием подобия двух систем является равенство любых двух соответствующих критериев подобия этих систем, составленных из их основных параметров и начальных (граничных) условий.

Таким образом, при моделировании процесса, явления или машины составляются критерии подобия, равенство которых обеспечивает подобие модели и натуры. В.А. Иларионов отмечал, что любое ДТП можно рассматривать как единичную реализацию собы-

тия, происходящего под действием большого количества факторов, в том числе случайных. Вместе с тем, ДТП, связанные в частности с наездом на пешехода, имеют некоторые общие черты, что позволило разработать единую методику их экспертного исследования, не зависящую от индивидуальных особенностей конкретного происшествия. В основу методики положены синхронность и взаимосвязь движения пешехода и транспортного средства во время происшествия. Таким образом, при экспертном анализе наезда на пешехода создается некоторая математическая модель, для которой принимаются следующие допущения:

- скорость движения пешехода считается постоянной;
- направления движения транспортного средства и пешехода считаются прямолинейными.

Необходимо также отметить, что поскольку пешеход и автомобиль движутся с различными скоростями и проходят с момента возникновения опасности для движения различные расстояния, то единственным параметром процесса, обеспечивающим синхронность и взаимосвязь системы тел, является время движения объектов с момента возникновения опасности. В противном случае наезд не будет иметь места. Исходя из основ теории подобия, изложенных в работе [7], рассмотрим наезд транспортного средства на пешехода. Пусть процесс наезда определяется  $n$  величинами, связанными функциональной зависимостью:

$$q = f(p_1, \dots, p_{n-1}) \quad (1)$$

или

$$\varphi(q, p_1, \dots, p_{n-1}) = 0, \quad (2)$$

где  $f$  – однозначная функция аргументов; пусть  $n = r + 1$ , где  $r$  равно числу величин с независимой размерностью.

Это означает, что из  $q, p_1, \dots, p_{n-1}$  можно образовать только один критерий подобия. Если имеются два процесса одинаковой физической природы (модель и натура), различающиеся только значениями параметров  $p_i$  и величины  $q$ , принимаемой за обобщенную координату, то:

$$q_m = f(p_{m1}, \dots, p_{m(n-1)}), \quad q_n = f(p_{n1}, \dots, p_{n(n-1)}) \quad (3)$$

или

$$\varphi(q_m, p_{m1}, \dots, p_{m(n-1)}) = 0, \quad \varphi(q_n, p_{n1}, \dots, p_{n(n-1)}) = 0. \quad (4)$$

От функции размерных величин  $\varphi$ , как показано в работе [7], можно перейти к функции критериев подобия (в рассматриваемом случае критерий один):

$$\Phi(\Pi_m) = 0, \quad \Phi(\Pi_n) = 0. \quad (5)$$

Функция  $\Phi$  предполагается имеющей единственное решение, поэтому

$$\Pi_m = \Pi_n \quad \text{или} \quad \Delta = 1. \quad (6)$$

Таким образом, в рассмотренном случае критерии подобия двух процессов одинаковой физической природы равны: можно считать, что такие процессы всегда подобны. Условие равенства критериев подобия позволяет по характеристикам одного процесса делать заключение о характеристиках другого процесса. Рассмотренный пример моделирования часто встречается на практике. Он характерен для случая, если явления исследуются в условиях, когда процессы таковы, что лишь малое число величин полностью определяет протекание процесса. В случае наезда транспортного средства на пешехода только вели-

чина времени движения ( $t_n$ ) с момента возникновения опасности полностью определяет протекание исследуемого процесса.

Рассмотрим следующий пример. Легковой автомобиль, движущийся в жилой зоне с ограничением максимальной скорости движения до  $V_{доп} = 20$  км/ч, совершил наезд на пешехода. Фактическая скорость легкового автомобиля в момент наезда составляла  $V_a = 60$  км/ч, перед наездом водитель торможения не применял. Дорожное покрытие – сухой асфальтобетон. Время движения пешехода с момента возникновения опасности для движения составило  $t_n = 1,2$  с. Для исследования заданной реальной ситуации создаем математическую модель. Выбранная модель будет подобна исследуемой ситуации только в том случае, если имеет место равенство критериев подобия. Для рассматриваемой ситуации время  $t_n$  полностью определяет протекание процесса, потому и в выбираемой модели и в реальной ситуации оно должно быть одинаковым, в противном случае системы нельзя считать подобными.

Определим удаление легкового автомобиля от места наезда в момент возникновения опасности для движения:

$$S_a = V_a \cdot t_n = 16,6 \cdot 1,2 = 19,9 \text{ м.} \quad (7)$$

Определим остановочный путь легкового автомобиля в условиях места происшествия при фактической скорости движения:

$$S_0 = (T_1 + T_2 + 0,5 \cdot T_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{25,96 \cdot J}, \quad (8)$$

где  $T_1$  – время реакции водителя, 0,8 с;

$T_2$  – время запаздывания срабатывания тормозной системы, 0,2 с;

$T_3$  – время нарастания замедления, 0,25 с;

$J$  – установившееся замедление транспортного средства, 6,8 м/с<sup>2</sup>;

$V_a$  – фактическая скорость движения, 60 км/ч.

Остановочный путь легкового автомобиля в условиях места происшествия при фактической скорости движения определяется равным  $S_0 = 39$  м.

Сравнивая величины  $S_a$  и  $S_0$  ( $19,9 < 39$ ) приходим к выводу, что при фактической скорости движения водитель легкового автомобиля не имел технической возможности при принятии мер экстренного торможения остановить транспортное средство до линии движения пешехода.

Проведем проверочный расчет. В работе [8] авторы приходят к выводу, что если  $t_n$  меньше значения величины  $T + 0,5t_i$  или равно ему, то у водителя отсутствует техническая возможность предотвратить происшествие с помощью экстренного торможения. Или иными словами, если время движения пешехода меньше времени приведения транспортного средства в заторможенное состояние и половины интервала времени движения автомобиля в заторможенном состоянии, то вывод о наличии технической возможности отрицателен. Время движения заторможенного автомобиля до остановки определяется по формуле

$$t_i = \frac{V_a}{3,6J} = 2,45 \quad (9)$$

$$T + 0,5t_i = 1,125 + 2,45/2 = 2,35 \text{ с.}$$

Поскольку  $t_n$  меньше значения величины  $T + 0,5t_i$  ( $1,2 < 2,35$ ), то вывод об отсутствии у водителя технической возможности предотвратить наезд подтверждается. Достоверность и научная обоснованность полученного вывода подтверждается равенством критериев подобия.

Далее определим остановочный путь легкового автомобиля в условиях места происше-

ствия при допустимой скорости движения:

$$S_{од} = (T_1 + T_2 + 0,5 \cdot T_3) \cdot \frac{V_{доп}}{3,6} + \frac{V_{доп}^2}{25,96 \cdot J}, \quad (10)$$

где  $T_1$  – время реакции водителя, 0,8 с;

$T_2$  – время запаздывания срабатывания тормозной системы, 0,2 с;

$T_3$  – время нарастания замедления, 0,25 с;

$J$  – установившееся замедление транспортного средства, 6,8 м/с<sup>2</sup>;

$V_{доп}$  – допустимая скорость движения, 20 км/ч.

Остановочный путь легкового автомобиля в условиях места происшествия при фактической скорости движения определяется равным  $S_{од} = 8,5$  м.

Если согласно методикам [3], [4], а также программному комплексу «НАСТ» сравнить  $S_a$  и  $S_{од}$  ( $19,9 > 8,5$ ), то можно прийти к выводу, что водитель имел техническую возможность предотвратить наезд при допустимой скорости движения. Проведем проверочный расчет:

$$t_{12} = \frac{V_{доп}}{3,6J} = 0,81, \quad (11)$$

$$T + 0,5t_1 = 1,125 + 0,81/2 = 1,5 \text{ с.}$$

Поскольку  $t_1$  меньше значения величины  $T + 0,5t_1$  ( $1,2 < 1,5$ ), то следует вывод об отсутствии у водителя технической возможности предотвратить наезд на пешехода. Таким образом, имеем два взаимоисключающих вывода по одному реальному событию. Тем не менее, даже простой логический анализ свидетельствует, что поскольку время движения пешехода сопоставимо с временем приведения в действие тормозной системы автомобиля, то водитель последнего не мог иметь технической возможности предотвратить наезд экстренным торможением.

Таким образом, применяемая в судебной практике математическая модель, рекомендованная [4] и программным комплексом «НАСТ» для установления причинной связи между превышением скорости и фактом ДТП, в рассматриваемом случае не может быть подобна реальной ситуации, поскольку в ней отсутствует синхронизация по времени движения ( $t_1$ ). Следовательно, выводы, полученные в работе [5], имеют под собой научное обоснование, в противоположность используемой в Центре судебной экспертизы методике [4] и программному комплексу «НАСТ».

Для исследования причинной связи между превышением скорости и происшествием и создания математической модели, подобной реальному процессу ДТП, в методику [4] необходимо ввести параметр  $S_{ад}$  – удаление автомобиля от места наезда при допустимой скорости движения.

Для вышеприведенного примера значение  $S_{ад}$  определяется равным:

$$S_{ад} = V_{доп} \cdot t_1 = 5,5 \cdot 1,2 = 6,6 \text{ м.} \quad (12)$$

Сравнивая величины  $S_{ад}$  и  $S_{од}$  ( $6,6 < 8,5$ ), приходим к выводу, что при допустимой скорости движения водитель легкового автомобиля не имел технической возможности при принятии мер экстренного торможения остановить транспортное средство до линии движения пешехода. Проведем проверочный расчет.

$$t_{12} = \frac{V_{доп}}{3,6J} = 0,81$$

$$T + 0,5t_1 = 1,125 + 0,81/2 = 1,5 \text{ с.}$$

Поскольку  $t_1$  меньше показателя  $T + 0,5t_1$  ( $1,2 < 1,5$ ), то вывод, что водитель не имел технической возможности предотвратить наезд при допустимой скорости движения под-



тверждается. Достоверность и научная обоснованность полученного вывода подтверждается равенством критериев подобия.

Из сравнения численных значений уравнений (7) и (8), (7) и (10) можно получить практически противоположные выводы при исследовании одной и той же дорожно-транспортной ситуации. Но необходимо еще раз отметить, что сравнение численных значений решения уравнений (7) и (10) не имеет под собой научного обоснования и не соответствует фактическим обстоятельствам исследуемого ДТП.

Все вышеизложенное можно с успехом применить не только при анализе наезда на пешехода, но и при столкновении транспортных средств. В этом случае аналитические зависимости будут иметь более сложный характер.

Следовательно, введение параметра  $S_{ад}$  в методику анализа причинной связи между превышением скорости движения и наступившими последствиями [4] позволяет создать математическую модель, подобную реальной дорожно-транспортной ситуации.

В свете изложенного, техническая возможность предотвращения ДТП при допустимой скорости движения путем торможения должна определяться путем сравнения  $S_{од}$  и  $S_{ад}$ . Если  $S_{од} < S_{ад}$ , то делается вывод о наличии технической возможности; при  $S_{од} > S_{ад}$  – об отсутствии такой возможности; если же  $S_{од} = S_{ад}$ , то делается вероятный вывод: мог не иметь. В ряде случаев  $S_{ад}$  может совпадать с  $S_{а} = S_{в}$ .

На основании вышеизложенного необходимо отметить, что методики [3], [4], а также программный комплекс «НАСТ» при исследовании причинной связи между превышением скорости и фактом происшествия дают результат, не всегда соответствующий фактическим обстоятельствам ДТП, что может повлечь за собой необоснованное привлечение к уголовной или административной ответственности. Общеизвестно, что методология судебной экспертизы, являясь общим предписанием о тех действиях, которые нужно совершить в процессе ее проведения, чтобы получить конкретное предметное знание, призвана устранить из методов экспертного исследования все то, что может повлечь за собой либо необоснованное привлечение к уголовной или административной ответственности, либо, наоборот, необоснованное освобождение от ответственности виновного в совершении преступления или административного нарушения.

Таким образом, имеется настоятельная необходимость корректировки методических рекомендаций «Технические аспекты применения специальных знаний при анализе дорожно-транспортных происшествий», а также программного комплекса «НАСТ» в части анализа причинной связи между превышением скорости и наступившими последствиями. Более того, необходимо ознакомить с вносимыми поправками как можно больший круг экспертов и специалистов для предупреждения необоснованного привлечения к уголовной или административной ответственности либо, наоборот, необоснованного освобождения от ответственности виновного в совершении преступления или административного нарушения.

#### Список литературы

1. Шакиров К.Н. Судебная экспертиза: Учебно-практическое пособие в схемах. – Алматы: ВШП «Эдилет», 1998. – 49 с.
2. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. – М.: ЦНИИСЭ, 1971. – 118 с.
3. Кисляков Ю.Д. Краткий справочник по автотехнической экспертизе. – Алматы: КазНИИСЭ, 1992. – 72 с.
4. Кисляков Ю.Д. Технические аспекты применения специальных знаний при анализе дорожно-транспортных происшествий / Ю.Д. Кисляков, О.Г. Кузнецов, Т.М. Жанабаев. – Алматы: ЦСЭ 1998. – 108 с.
5. Воронин И.Е. Экспертное исследование остановочного пути транспортного средства // Проблемы судебной автотехнической экспертизы. – М.: ВНИИСЭ, 1984. – С.128-138.
6. Иванов В.Н. Пассивная безопасность автомобиля / В.Н. Иванов, В.А. Лялин. – М.: Транспорт, 1979. – 304 с.

7. Алабужев П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование. – М.: Высшая школа, 1968. – 208 с.
8. Литинский С.А. Экспертный анализ технической возможности водителя ТС предотвратить наезд на пешехода / С.А. Литинский, В.И. Чернов// Проблемы судебной автотехнической экспертизы. – М.: ВНИИСЭ, 1984. – С. 94-101.

Получено 26.10.05

