

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ УЗЛОВ ЭНЕРГОАГРЕГАТОВ

Гречишников В.М., Данилин А.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

### Аннотация

Предлагается математическая модель дискретно-фазового преобразователя перемещений, отображающая наиболее существенные энергоинформационные процессы взаимодействия зондирующего излучения с контролируемым элементом и объединяющая собой частные математические модели для оптического и радиоволнового диапазонов.

**Ключевые слова:** математическая модель, дискретно-фазовый метод, дискретно-фазовые преобразователи перемещений, зондирующее излучение, фотоприёмник.

### Введение

Обеспечение высокой надёжности вращающихся узлов (ВУ) изделий машиностроения, например, энергетических установок (ЭУ) на базе турбоагрегатов, увеличение их эксплуатационного ресурса и снижение эксплуатационных расходов основано на использовании информации о фактическом состоянии их нагруженных вращающихся конструктивных элементов. По этой причине разработка эффективных автоматизированных средств диагностики и контроля текущего состояния элементов вращающихся силовых узлов ЭУ является актуальной научно-технической задачей. При этом основными диагностическими параметрами являются статические и динамические угловые и линейные перемещения (УЛП) этих элементов, вызванные статической закруткой, изгибом и крутильными колебаниями элементов ВУ ЭУ.

В качестве примера на рис. 1а схематически представлена ступень лопаточной ЭУ. Здесь элементы конструкции ротора (диск колеса и вал) при их вращении совершают угловые статические (в виде закрутки) и динамические (в виде колебаний) перемещения относительно оси вала  $OO$ , а также линейные перемещения в направлении осей  $X$  и  $Y$ . Под действием рабочего тела (газовоздушной смеси или жидкости) на лопатки ЭУ их торцы подвергаются осевым перемещениям (ОП) вдоль оси  $X$  и радиальным перемещениям (в пределах рабочего зазора -  $PЗ$ ) вдоль оси  $Y$  (рис. 1б). Торцы лопатки в результате закрутки её пера может совершать статические и динамические угловые перемещения (УП) в пределах некоторого угла  $\phi$  (рис. 1в) в плоскости  $XOZ$ . Кроме этого, в результате изгибных перемещений (ИП) пера лопатки её торцы перемещаются вдоль оси  $Z$  (рис. 1г). При этом (см. боковую проекцию на рис. 1г) нормаль торца лопатки отклоняется от исходного состояния на угол  $\alpha$ . В корпусе ЭУ над траекторией движения торцов лопаток установлен преобразователь перемещений (ПП), чувствительный элемент (ЧЭ) которого изображён на рис. 1в.

На практике как для оперативного, так и длительного контроля УЛП элементов ВУ ЭУ чаще всего применяется бесконтактный дискретно-фазовый метод (ДФМ) [1, 2].

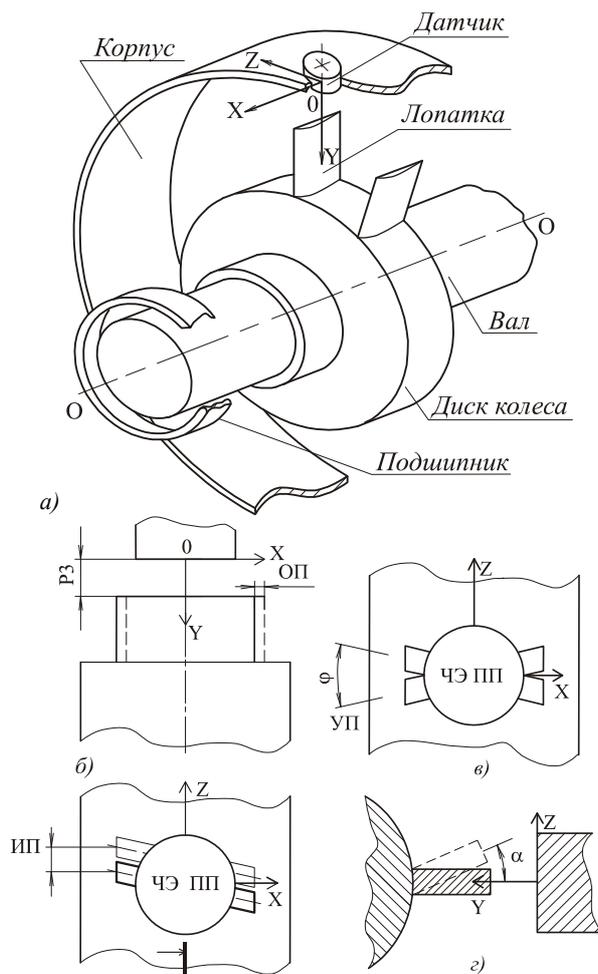


Рис. 1. Элементы ротора лопаточной энергетической установки (а) и развёртка лопаточного венца с линейными (б) и угловыми (в, г) перемещениями лопаток

Сущность ДФМ основана на преобразовании дискретных значений (фаз) перемещений контролируемых элементов (торцов лопаток, рис. 1) в пределах каждого оборота ротора  $T_p$  ВУ в пропорциональные временные интервалы  $\Delta t_i$  между опорным (корневой датчик) и информационным (периферийный датчик) импульсами. Значения длительностей  $\Delta t_i$  накапливаются на интервале  $T \gg nT_p$ ,  $n \gg 1$ ,  $n$  - число оборотов ротора ВУ. В результате из массива на-

копленных данных выделяются  $\Delta t_{\max} \sim y_{\max}$ ,  $\Delta t_{\min} \sim y_{\min}$  и  $\Delta t_{cp} \sim y_{cp}$ , где  $y_{\max}$ ,  $y_{\min}$ ,  $y_{cp}$  - максимальное, минимальное и среднее значения контролируемого перемещения за время накопления (усреднения) информации.

Однако внедрение известного метода дискретно-фазовых измерений сдерживается из-за необходимости выполнения глубокого препарирования энергоагрегата для установки датчиков в его внутреннем тракте. Установка внутренних датчиков требует монтажа дополнительных крепёжных, токосъёмных и других конструктивных элементов, что снижает надёжность как устройства контроля, так и ЭУ в целом. Кроме того, рассмотренный ДФМ имеет существенный недостаток, связанный с резким уменьшением чувствительности при измерении УЛП, обусловленных высшими формами колебаний элементов ВУ.

Анализ современного состояния научно-технической проблемы бесконтактного контроля УЛП динамически нагруженных элементов ВУ изделий машиностроения показал, что непрерывно возрастающие требования к точности и достоверности контроля перемещений элементов ВУ вызывают необходимость создания нового поколения устройств, которые в силу специфики построения и методики использования целесообразно выделить в самостоятельный класс средств измерений – дискретно-фазовые преобразователи перемещений (ДФПП) [3].

Особенность преобразователей данного класса заключается в том, что значения дискретных фаз перемещений формируются с помощью расположенного в технологическом отверстии корпуса энергетической установки (ЭУ) одноканального или двухканального первичного преобразователя, в котором конструктивно и функционально интегрированы объект контроля, источник и приёмник зондирующего излучения (ЗИ) оптического или радиоволнового диапазона, а также электронные узлы первичной обработки сигналов. Использование оптического и радиоволнового диапазонов для формирования ЗИ объективно несёт в себе большие возможности информативного взаимодействия с контролируемым объектом по сравнению с традиционной реализацией ДФМ [4, 5]. Однако детальные исследования комплекса эксплуатационных характеристик ДФПП невозможны без решения основной проблемы теории преобразователей рассматриваемого класса - разработки их обобщённой математической модели (ОММ).

Угловое перемещение контролируемого элемента  $\alpha$  (рис. 1з) является наиболее общим случаем при рассмотрении УЛП ВУ ЭУ, поэтому на его примере рассмотрим построение ОММ.

#### **Методика формирования обобщённой математической модели**

Под обобщённой математической моделью ДФПП будем понимать уравнение, связывающее между собой значения выходного кода преобразователя с измеряемой величиной через конструктивные и схемотехнические параметры и их отклонения от

номинальных значений. Для получения ОММ необходимо получить математические модели процессов формирования и преобразования сигналов в их аналоговых, аналого-цифровых и цифровых функциональных элементах. К таким процессам относятся:

- формирование опорного и информационного сигналов;
- преобразование информативного временного интервала в код, а именно:
  - компарирование сигналов и формирование прямоугольного импульса, длительность которого пропорциональна измеряемой величине;
  - генерация прямоугольных тактовых импульсов;
  - формирование «пачки» прямоугольных импульсов, количество которых пропорционально измеряемому временному интервалу;
  - определение значений разрядных цифр.

#### **Формирование математических моделей опорного и информационного сигналов**

В случае использования двухканального ПП информативные временные интервалы определяют угловые положения  $\alpha$  контролируемых элементов ВУ. В основу таких ДФПП положен физический принцип зависимости отражающих свойств поверхностей материалов от качества их обработки и частоты электромагнитного излучения. Сущность заключается в том, что пространственное положение максимума индикатрисы потока, отражённого от поверхности контролируемого элемента зеркально ( $\lambda > 8h$ , где  $\lambda$  – длина волны ЗИ, а  $h$  – высота микронеровностей ПКО – поверхности контролируемого объекта), определяется его угловым положением  $\alpha$ . Индикатриса диффузно отражённого потока ( $\lambda < h$ ) имеет практически круговой вид, и поэтому положение её максимума в малой степени зависит от угловой ориентации отражающего участка. Таким образом, если зафиксировать во времени положения максимумов индикатрис обоих потоков, отражённых от поверхности контролируемого элемента, то по временному интервалу между ними можно судить о величине его углового перемещения  $\alpha$ .

Отражённые потоки ЗИ с помощью первичных электронных устройств преобразуются в импульсные электрические сигналы  $u_{инф}(t)$  и  $u_{он}(t)$ , временные положения максимальных значений которых  $u_{инф}^{\max}(t)$  и  $u_{он}^{\max}(t)$  определяют информативные временные интервалы:

$$\Delta t = \tau = \arg u_{инф}^{\max} - \arg u_{он}^{\max} \sim \alpha. \quad (1)$$

Для описания процессов получения  $u_{инф}(t)$  и  $u_{он}(t)$  введём в рассмотрение совокупности номинальных  $(c_{r1}^0, c_{r2}^0, \dots, c_{rj}^0, \dots, c_{rk_m}^0)$  и фактических  $(c_{r1}, c_{r2}, \dots, c_{rj}, \dots, c_{rk_m})$  значений конструктивных, схемотехнических и энергетических параметров, соответствующих идеальному и реальному ДФПП. В

этих выражениях  $r = \{ p, f, s, g, \lambda, h \}$  – обобщённый индекс, определяющий вид используемых частных математических моделей, а именно:  $p$  – индекс, обозначающий параметры мощности  $P$  ЗИ с длиной волны  $\lambda$ ,  $f$  – индекс нормированной функции  $F$  пространственной модуляции ЗИ,  $s$  – индекс крутизны  $S$  энергетического преобразования потока ЗИ в ток приёмного устройства,  $g$  – индекс, обозначающий схемотехнические и технологические параметры электронных устройств,  $h$  – индекс, характеризующий высоту микронеровностей ПКО.

Разности  $\Delta c_{rj} = c_{rj}^0 - c_{rj}$  образуют совокупность  $(\Delta c_{r1}, \Delta c_{r2}, \dots, \Delta c_{rj}, \dots, \Delta c_{rk})$  отклонений параметров от номинальных значений, являющихся следствием влияния инструментальных погрешностей и внешних факторов. С учётом введённых обозначений математическая модель формирования информационного и опорного аналоговых электрических сигналов от воз

$$u_{инфj}(\alpha, \Omega t) = \left\{ \sum_{j=1}^N P_j(c_p^0, \Delta c_p, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) F_j(\alpha, \Omega t, c_f^0, \Delta c_f, c_h^0, \Delta c_h) \Big|_{\lambda > 8h} \sum_{k=1}^K S_k(c_s^0, \Delta c_s, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) \right\} Z_n \times$$

$$\times \left[ \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \xi_{jk}(\Delta c_p, \Delta c_f, \Delta c_s) + 1 \right] + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \psi_{jk}(\Delta c_p, \Delta c_f, \Delta c_s),$$

$$u_{онj}(\alpha, \Omega t) = \left\{ \sum_{j=1}^N P_j(c_p^0, \Delta c_p, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) F_j(\alpha, \Omega t, c_f^0, \Delta c_f, c_h^0, \Delta c_h) \Big|_{\lambda < h} \sum_{k=1}^K S_k(c_s^0, \Delta c_s, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) \right\} Z_n \times$$

$$\times \left[ \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \xi_{jk}(\Delta c_p, \Delta c_f, \Delta c_s) + 1 \right] + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \psi_{jk}(\Delta c_p, \Delta c_f, \Delta c_s),$$

где  $\alpha$  – угловое положение ПКО;  $Z_n$  – сопротивление нагрузки;  $t$  – текущее время,  $\Omega$  – частота вращения контролируемого элемента,  $\xi_{jk}$  – мультипликативная и  $\psi_{jk}$  – аддитивная составляющие погрешности энергоинформационного взаимодействия ЗИ с ПКО;  $N$  – количество элементарных излучателей, формирующих ЗИ,  $K$  – количество элементарных приёмных элементов.

Формирование обобщённой математической модели преобразователя временного интервала в код

При построении обобщённой математической модели время-импульсного цифрового преобразователя  $N(\alpha)$  необходимо учесть наиболее существенные процессы, которые влияют на точность преобразования. К ним относятся процессы генерации счётных импульсов, компарирования сигналов, логической обработки и счёта импульсов.

Выходной сигнал генератора тактовых импульсов (ГТИ) в соответствии с [6, 7] представим в виде:

$$u_z = \begin{cases} 1 & \text{при } iT_z \leq t \leq (2i+1)\frac{T_z}{2}, \\ 0 & \text{при } (2i+1)\frac{T_z}{2} \leq t \leq (i+1)T_z, \end{cases} \quad (6),$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots, N$  – номер периода колебаний ГТИ.

действия ЗИ  $j$ -той элементарной площадки излучателя без учёта погрешностей энергоинформационных преобразований получена в виде:

$$u_{инфj}(\alpha, \Omega t) = P_j(c_p^0, \Delta c_p, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) \times F_j(\alpha, \Omega t, c_f^0, \Delta c_f, c_h^0, \Delta c_h) \Big|_{\lambda > 8h} \times S_j(c_s^0, \Delta c_s, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) Z_n,$$

$$u_{онj}(\alpha, \Omega t) = P_j(c_p^0, \Delta c_p, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) \times F_j(\alpha, \Omega t, c_f^0, \Delta c_f, c_h^0, \Delta c_h) \Big|_{\lambda < h} \times S_j(c_s^0, \Delta c_s, c_\lambda^0, \Delta c_\lambda) Z_n.$$

Суммирование воздействий потоков ЗИ всех элементарных излучателей после отражения от ПКО по всем элементарным площадкам приёмника-преобразователя позволяет на основании (2 и 3) получить информационный и опорный электрические сигналы в виде:

Временные моменты начала инкрементирования счётчика и его остановки определяются в результате сравнения информационного и опорного сигналов, определяемых выражениями (4), (5), с пороговыми напряжениями компараторов  $u_{n1}$  и  $u_{n2}$ :

$$u_{к1} = \begin{cases} 0 & \text{при } u_{инф}(t) \leq u_{n1}, \\ 1 & \text{при } u_{инф}(t) > u_{n1}, \end{cases} \quad (7)$$

$$u_{к2} = \begin{cases} 0 & \text{при } u_{он}(t) \leq u_{n2}, \\ 1 & \text{при } u_{он}(t) > u_{n2}. \end{cases} \quad (8)$$

Импульс напряжения, длительность которого пропорциональна входной измеряемой величине, определится как:  $u_\tau(\alpha) = u_{к1} \wedge u_{к2}$ . Тогда сигнал («пачка» импульсов) на входе счётчика:  $u_{cv}(\alpha) = u_{к1} \wedge u_{к2} \wedge u_z$  также является функцией выражений (4) и (5). Иными словами,  $u_{cv} = f(\alpha, c_r^0, \Delta c_r)$ .

Модель  $i$ -ой разрядной цифры двоичного счётчика [7]:  $a_i^{n+1} = T^n a_i^n + T^n a_i^n$ , где  $T^n$  – фронт или потенциальный уровень напряжения на счётном входе Т-триггера, изменяющие состояние  $i$ -разряда счётчика. Учитывая, что  $T^n = u_{cv}^n$ , выражения для значений разрядных цифр асинхронного двоичного счётчика определяются в виде:

$$\begin{aligned}
 a_0^{n+1} &= u_{cu}^n \cdot \overline{a_0^n} + u_{cu}^n \cdot \overline{a_0^n}, \\
 a_1^{n+1} &= a_0^{n+1} \cdot a_1^n + \overline{a_0^{n+1}} \cdot \overline{a_1^n}, \\
 a_2^{n+1} &= a_1^{n+1} \cdot \overline{a_2^n} + \overline{a_1^{n+1}} \cdot a_2^n, \\
 &\dots\dots\dots \\
 a_{m-1}^{n+1} &= a_{m-2}^{n+1} \cdot \overline{a_{m-1}^n} + \overline{a_{m-2}^{n+1}} \cdot a_{m-1}^n.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Значения разрядных цифр  $a_i$  также зависят от  $(\alpha, c_r^0, \Delta c_r)$ , и их можно представить в виде логических функций действительных аргументов:

$$a_i = \{ 0(\alpha, c_r^0, \Delta c_r), 1(\alpha, c_r^0, \Delta c_r) \}.$$

В теории кодирования полученную кодовую комбинацию обозначают кодовым вектором  $\vec{a}$  с размерностью  $m$ :  $\vec{a} = (a_0, a_1, \dots, a_{m-1})$ , представляемого в виде многомерного куба. Сложность интерпретации полученного результата не позволяет построить наглядные методы оценки основных метрологических эксплуатационных характеристик ДФПП и исследовать его технические возможности. Поэтому предлагается математическую модель ДФПП дополнить уравнением преобразования идеального ЦАП, включенного на выход ДФПП. В этом случае выходной код реального ДФПП, с учётом полученных соотношений для отдельных разрядов, представляется в виде обобщённого уравнения преобразования:

$$\begin{aligned}
 N_p^{n+1}(\alpha, c_r^0, \Delta c_r) &= u_{cu}^n(\alpha, c_r^0, \Delta c_r) \cdot \overline{a_0^n} + \\
 &+ \overline{u_{cu}^n(\alpha, c_r^0, \Delta c_r)} \cdot a_0^n + \sum_{i=1}^{m-1} a_i^{n+1}(\alpha, c_r^0, \Delta c_r) \cdot 2^i.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Уравнение (10) определяет весь комплекс метрологических характеристик реального ДФПП.

Приравнивая  $\Delta c_r = 0$ , т.е. исключая влияние инструментальных погрешностей, можно получить обобщённое уравнение преобразования идеального ДФПП:

$$\begin{aligned}
 N_u^{n+1}(\alpha, c_r^0) &= u_{cu}^n(\alpha, c_r^0) \cdot \overline{a_0^n} + \\
 &+ \overline{u_{cu}^n(\alpha, c_r^0)} \cdot a_0^n + \sum_{i=1}^{m-1} a_i^{n+1}(\alpha, c_r^0) \cdot 2^i.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Числовой массив значений инструментальной погрешности определения углового перемещения  $\alpha$  может быть найден по разности:

$$\Delta N(\alpha) = N_p^{n+1}(\alpha, c_r^0, \Delta c_r) - N_u^{n+1}(\alpha, c_r^0),$$

которая представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, длительность которых определяет значения погрешности в  $k$ -ой точке смены выходного кода, а полярность определяет её знак.

### Заключение

В результате проведённых исследований впервые разработана методика получения обобщённой математической модели ДФПП, в виде уравнения идеального цифро-аналогового преобразования вы-

ходного кода ДФПП процессы изменения разрядных цифр которого заданы в виде логических функций от входного параметра  $\alpha$ , множества конструктивных и внешних факторов, а также их отклонений от номинальных значений.

Полученная обобщённая математическая модель позволяет получать оценки метрологических характеристик ДФПП, включающих в себя:

- законы распределения суммарной погрешности;
- влияние на суммарную погрешность отдельных её составляющих;
- достоверность преобразований и др.

Программное моделирование  $N_u(\alpha)$  и  $N_p(\alpha)$  позволяет в соответствии с методикой, изложенной в [6, 7], получать результаты, отображающие функции влияния отклонений отдельных параметров на результирующую погрешность преобразования.

### Литература

1. **Заблоцкий, И.Е.** Бесконтактные измерения колебаний лопаток турбомашин / И.Е. Заблоцкий, Ю.А. Коростелев, Р.А. Шипов. – М.: Машиностроение, 1977. – 160 с.
2. **Witos, M.** Turbine engine health/Maintenance status monitoring with use of phase-discrete method of blade vibration monitoring / M. Witos, R. Szczepanik // Solid state phenomena. – 2009. – Vols. 147, Trans tech publications, Switzerland. – P. 530-541.
3. **Данилин, А.И.** Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами / А.И. Данилин. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008. – 218 с.
4. **Holst, T.A.** Development of an Optical-Electromagnetic Model of a Microwave Blade Tip Sensor / T.A. Holst, T.R. Kurfess, S.A. Billington, J.L. Geisheimer, J.L. Littles. – AIAA-2005-4377, 2005.
5. **Geisheimer, J.L.** A Microwave Blade Tip Clearance Sensor for Active Clearance Control Applications / J.L. Geisheimer, S.A. Billington, D.W. Burgess. – AIAA-2004-3720, 2004.
6. **Гречишников, В.М.** Метрология и радиоизмерения: учебное пособие / В.М. Гречишников. – Самара: Изд-во самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с.
7. **Гречишников, В.М.** Обобщённая математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы её анализа / В.М. Гречишников, С.В. Гречишников // Вестник Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 1998. – № 6. – С. 111-119.

### References

1. **Zablotsky, I.E.** Contactless of measurement of fluctuations of shovels of turbomachines / I.E. Zablotsky, Ju.A. Korostelev, R.A. Shipov. – Moscow: "Mashinostroenie" Publisher, 1977. – 160 p. – (In Russian).
2. **Witos, M.** Turbine engine health/Maintenance status monitoring with use of phase-discrete method of blade vibration monitoring / M. Witos, R. Szczepanik // Solid state phenomena. – 2009. – Vols. 147, Trans tech publications, Switzerland. – P. 530-541.
3. **Danilin, A.I.** Contactless of measurement deformation parameters of shovels in monitoring systems and managements of turbine units / A.I. Danilin. – Samara: Publishing house Samara scientific the prices-tra of the Russian Academy of Sciences, 2008. – 218 p.

4. **Holst, T.A.** Development of an Optical-Electromagnetic Model of a Microwave Blade Tip Sensor / T.A. Holst, T.R. Kurfess, S.A. Billington, J.L. Geisheimer, J.L. Littles. – AIAA-2005-4377, 2005.
5. **Geisheimer, J.L.** A Microwave Blade Tip Clearance Sensor for Active Clearance Control Applications / J.L. Geisheimer, S.A. Billington, D.W. Burgess. – AIAA-2004-3720, 2004.
6. **Grechishnikov, V.M.** Metrologija and radio measurements: the educational grant/century / V.M. Grechishnikov. – Samara: "Samara State Aerospace University" Publisher, 2007. – 160 p.
7. **Grechishnikov, V.M.** Century of the Generalized mathematical model of digitizers of movings and methods of its analysis / V.M. Grechishnikov, S.V. Grechishnikov // The Bulletin Itself. Un y. Sulfurs. The Fiz.-floor-mat. Sciences, (SamGTU, Samara). – 1998. – Vol. 6. – P. 111-119.

## MATHEMATICAL MODEL OF IS DISCRETE-PHASE CONVERTERS MOVINGS OF ROTATING KNOTS OF POWER UNITS

*V. Grechishnikov, A. Danilin*  
Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

### Abstract

The mathematical model of the is discrete-phase converter moving, displaying the most essential power information processes interaction probing radiation with a controllable element and uniting itself private mathematical models for optical and radio wave ranges is considered.

*Key words:* a mathematical model, is discrete-phase method, is discrete-phase converters of the movings, probing radiation, photodetector.

### Сведения об авторах



**Гречишников Владимир Михайлович**, 1950 года рождения. В 1972 году окончил Куйбышевский политехнический институт имени В.В. Куйбышева (КрТИ, ныне Самарский государственный технический университет) по специальности «Информационно-измерительная техника». Доктор технических наук с 1999 года, профессор, работает заведующим кафедрой электротехники СГАУ. Действительный член Российской академии транспорта. Является специалистом в области оптоэлектронных и волоконно-оптических преобразователей и систем. В списке научных работ В.М. Гречишникова 186 статей, 2 монографии, 35 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: [gv@ssau.ru](mailto:gv@ssau.ru).

**Vladimir Mihajlovich Grechishnikov**, 1950 year of birth. In 1972 has ended Kuibyshev polytechnical institute of a name of V.V. Kujbysheva (KpTI, nowadays the Samara state technical university) on a specialty «information-measuring technics». The Dr.Sci.Tech. since 1999, the professor, works managing chair electrical engineers. Is the full member of the Russian academy of transport. Is the expert in area fiber-optical converters and systems. In the list of scientific works of V.M. Grechishnikova of 186 articles, 2 monographies, 35 copyright certificates and patents.



**Данилин Александр Иванович**, 1955 года рождения. В 1978 году с отличием окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ, ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Радиотехника». Кандидат технических наук (1990 год), доцент кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем СГАУ. Данилин А.И. – специалист в области оптоэлектронных и волоконно-оптических преобразователей и систем. В списке научных работ А.И. Данилина 37 статей, 1 монография, 17 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: [aidan@ssau.ru](mailto:aidan@ssau.ru).

**Alexander Ivanovich Danilin**, 1955 year of birth, graduated with honours (1981) from the S. P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute (presently, S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU)) on a specialty of "Radio technician". Cand. Tech. Sci. (1990), the senior lecturer of chair of radio engineering and medical diagnostic systems SGAU. Danilin A.I. – the expert in area and fiber-optical converters and systems. In the list of scientific works of A.I. Danilin of 37 articles, 1 monography, 17 copyright certificates and patents.

*Поступила в редакцию 14 июля 2011 г.*