

УДК 681.3.06(075.8)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ**

**Горева Т.И.<sup>1</sup>, Пюкке Г.А.<sup>2</sup>, Портнягин Н.Н.<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Филиал Дальневосточного Федерального государственного университета, 683031, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Тушканова, 11/1

<sup>2</sup> Камчатский государственный технический университет, 683003, г. Петропавловск-Камчатский, Ключевская, 35

E-mail: tatyana-goreva@yandex.ru

Работа посвящена исследованию и развитию методов анализа модели регулирования многомерной системы. Используя массивы регулировочных признаков, построена процедура, которая позволяет понизить порядок исходной матрицы узловых параметров системы и свести матрицу произвольного порядка всегда к матрице четырехполюсника с фиксированными полюсами входа и выхода системы.

*Ключевые слова: вейвлет анализ, подавление импульсных помех, ортогональный базис.*

© Горева Т.И., Пюкке Г.А., Портнягин Н.Н., 2011

MSC 90C31

## **WORKING OUT OF A METHOD OF CONSTRUCTION OF ANALYTICAL MODEL OF PARAMETRICAL OPTIMIZATION OF SYSTEMS**

**Goreva T.I.<sup>1</sup>, Pjukke G. A.<sup>2</sup>, Portnjagin N.N.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Branch of the Far Eastern Federal State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Tushkanova st., 11 / 1, Russia

<sup>2</sup> Kamchatka State Technical University, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya st. 35, Russia

E-mail: tatyana-goreva@yandex.ru

Work is devoted research and development of methods of the analysis of model of regulation of multidimensional system. Using files of adjusting signs, procedure which allows to lower an order of an initial matrix of central parameters of system is constructed and to reduce a matrix of any order always to a matrix of the two-port network with the fixed poles of an input and a system exit.

*Key words: wavelet analysis, suppression of impulsive hindrances, ortogonal base.*

© Goreva T.I., Pjukke G. A., Portnjagin N.N., 2011

## Введение

Методы структурной диагностики позволяют эффективно решать задачу оценки состояния объекта, однако локализация дефекта с точностью до электронной компоненты затруднена из-за недостаточно детального учета всех параметров сложной электронной цепи.

Современное состояние систем организации технического обслуживания и ремонта сложных технических объектов характеризуется переходом от систем планово-предупредительных ремонтов к стратегиям управления эксплуатационной надежностью объектов по их техническому состоянию. Преимущества такого подхода заключаются в экономии трудовых, материальных и финансовых ресурсов, что особенно важно в условиях развития рыночных отношений. Однако такой подход возможен при условии создания систем мониторинга технического состояния контролируемых объектов, которые в настоящее время на судах промыслового флота практически не применяются. Основной преградой на пути внедрения современной техники диагностирования на судах являются значительные дополнительные капитальные затраты на модернизацию систем контроля и управления судового электрооборудования из-за большого числа параметров за которыми необходимо установить слежение.

Из изложенного следует, что необходим дальнейший поиск эффективных методов диагностирования, и разработка соответствующих методик и средств диагностирования, позволяющих свести объем, качество и время диагностических измерений до минимума, является актуальной научно-технической проблемой.

## Основные этапы построения и анализа моделей

Процедура построения аналитической модели регулирования системы включает этапы анализа структуры объекта регулирования (ОР), оценку топологии системы, построение графов и выполнение аналитических преобразований [1]. Методика построения модели базируется на использовании совокупности наблюдаемых параметров (НП), используемых в качестве основных регулировочных признаков (РП). Формирование массива РП в виде совокупности функций передачи, предполагает их дальнейшее использование при построении и анализе аналитических моделей, учитывающих топологические и структурные особенности ОР. Процедура построения аналитической модели методом, разработанным в диссертации, включает следующие основные этапы:

1. Выбор основной совокупности НП на основе физического анализа ОР. Генерирование массива НП в виде аналитических соотношений.
2. Оценка информативности НП и оценка чувствительности реакции НП на величину вариации параметров составляющих компонент ОР.
3. Выбор минимальной совокупности НП с использованием оптимизационных критериев.
4. Построение аналитической модели параметрического регулирования систем и определение области допустимого регулирования параметров структурных компонент при выполнении задачи оптимизации.

## Выбор и генерирование основной совокупности наблюдаемых параметров объекта регулирования. Разработка процедуры «поглощения» внешнего полюса многополюсной системы при формировании массива наблюдаемых параметров

Модель регулирования многомерной системы может быть построена на основе использования массива наблюдаемых параметров, предварительно полученных при анализе системы регулирования, представленной в виде многополюсной системы. Учитывая особенности ОР, его топологию и спецификацию, а также характер решаемых задач можно выделить совокупность НП, функционально связанных с топологическими характеристиками объекта изучения: такими как параметры составляющих компонент, топология объекта регулирования, характер связей между компонентами.

Для формирования массива НП используем многополюсное представление многомерной системы (Рис.1), которое всегда можно выполнить, если дана структура изучаемой системы и построен топологический граф, имеющий  $n$  – вершин и  $k$  дуг.

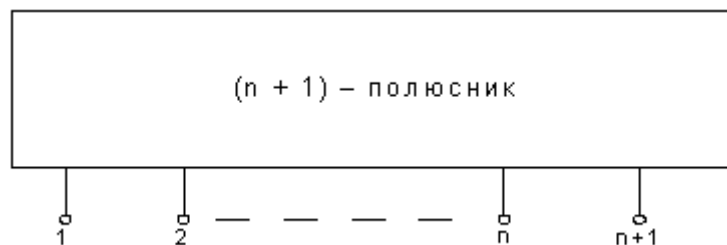


Рис. 1. Многополюсное представление системы.

Внутренняя топология объекта регулирования будет представлена совокупностью структурных компонент (СК) характер и размер которых, определяется глубиной регулирования и спецификой решаемой задачи. При таком делении ОР, регулирование ведется с глубиной до СК, а весь ОР представляется в виде многополюсной системы. При этом все вершины графа будут представлены полюсами многополюсной системы [2, 3].

Выбирается функция цели, экстремум которой необходимо добиться при решении задачи регулирования (например, величины запаса работоспособности системы и др.). Формализация поставленной задачи достигается посредством использования аппарата матричных преобразований. Формирование массива НП выполняется на основе использования полной матрицы узловых параметров, построенной на основе топологического графа исследуемой системы. Будем рассматривать только линейные системы. Исследуемая система будет считаться линейной, если полюсные функции внешнего воздействия  $f_s$ , полюсные функции реакции системы  $h_s$  и внутренние параметры составляющих компонент системы  $y_{ij}$  связаны системой линейных уравнений.

$$f_1 = y_{11}h_1 + y_{12}h_2 + \dots + y_{1(n+1)}h_{n+1}$$

$$f_2 = y_{21}h_1 + y_{22}h_2 + \dots + y_{2(n+1)}h_{n+1}$$

.....

(1)

$$f_n = y_{(n+1)1}h_1 + y_{(n+1)2}h_2 + \dots + y_{(n+1)(n+1)}h_{n+1}$$

Запишем полную матрицу узловых параметров системы:

$$[Y] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1(n+1)} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2(n+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{(n+1)1} & y_{(n+1)2} & \dots & y_{(n+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

Для вычисления каждого НП из всей возможной совокупности НП в топологическом графе необходимо выделить информационный канал, имеющий два полюса на входе (входные полюсы поступления информации) и два полюса на выходе (выходные полюсы съема информации). Соответственно над матрицей  $[Y]$  необходимо совершить эквивалентные преобразования, приводящие к понижению ее порядка. После выполнения таких преобразований многополюсник с любым количеством полюсов преобразуется в четырехполюсник. Эту процедуру назовем процедурой "поглощения" полюсов многополюсной системы. Над матрицей  $[Y]$  произведем преобразования, приводящие к получению конечной матрицы четырехполюсной системы.

Для перехода от  $(n+1)$  - полюсной системы к четырехполюснику используем наличие в  $(n+1)$  - полюсной системе полюсов, свободных от поступления и снятия информации. Предположим сначала, что какой – то  $k$  – й полюс имеет полюсную функцию  $f_k$  равную нулю и превращается во внутренний узел (внутреннюю вершину графа). Тогда из  $k$  – го уравнения системы можно выразить полюсную функцию  $h_k$  через полюсные функции остальных полюсов, при условии  $f_k = 0$ .

$$h_k = \frac{-y_{k1}h_1 - y_{k2}h_2 - \dots - y_{k(k-1)}h_{k-1} - y_{k(k+1)}h_{k+1} - \dots - y_{k(n+1)}h_{n+1}}{y_{kk}}$$

Деля почленно последнее соотношение на  $y_{kk}$  и подставляя в исходную систему, получим:

$$h_k = -\frac{y_{k1}}{y_{kk}} \cdot h_1 - \frac{y_{k2}}{y_{kk}} h_2 - \dots - \frac{y_{k(k-1)}}{y_{kk}} h_{k-1} - \frac{y_{k(k+1)}}{y_{kk}} h_{k+1} - \dots - \frac{y_{k(n+1)}}{y_{kk}} h_{n+1}$$

При подстановке в первое уравнение системы (1) получим:

$$\begin{aligned} f_1 &= y_{11}h_1 + y_{12}h_2 + \dots + y_{1k}h_k + \dots + y_{1(n+1)}h_{n+1} = \\ &= y_{11}h_1 + \dots + y_{1k} \left[ \frac{-y_{k1}}{y_{kk}} h_1 - \dots - \frac{y_{k(k-1)}}{y_{kk}} h_{k-1} - \frac{y_{k(k+1)}}{y_{kk}} h_{k+1} - \dots - \frac{y_{k(n+1)}}{y_{kk}} h_{n+1} \right] + \dots + y_{1(n+1)}h_{n+1}; \end{aligned}$$

Раскрываем скобки и группируем члены при одинаковых полюсных параметрах  $h$ :

$$\begin{aligned} f_1 &= \left( y_{11} - \frac{y_{1k}y_{k1}}{y_{kk}} \right) h_1 + \dots + \left( y_{1(k-1)} - \frac{y_{1k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}} \right) h_{k-1} + \\ &+ \left( y_{1(k+1)} - \frac{y_{1k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}} \right) h_{k+1} + \dots + \left( y_{1(n+1)} - \frac{y_{1k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}} \right) h_{n+1} \end{aligned}$$

Получили первое уравнение новой системы. Прделавав те же преобразования со всеми остальными уравнениями системы (1), получим:

$$f_2 = \left( y_{21} - \frac{y_{2k}y_{k1}}{y_{kk}} \right) h_1 + \dots + \left( y_{2(k-1)} - \frac{y_{2k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}} \right) h_{k-1} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \left( y_{2(k+1)} - \frac{y_{2k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}} \right) h_{k+1} + \dots + \left( y_{2(n+1)} - \frac{y_{2k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}} \right) h_{n+1} \\
 & \dots \dots \dots \\
 f_{n+1} = & \left( y_{(n+1)1} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k1}}{y_{kk}} \right) h_1 + \dots + \left( y_{(n+1)(k-1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}} \right) h_{k-1} + \\
 & + \left( y_{(n+1)(k+1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}} \right) h_{k+1} + \dots + \left( y_{(n+1)(n+1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}} \right) h_{n+1}
 \end{aligned}$$

Получили новую систему, в которой будет отсутствовать  $k$  – е уравнение и  $k$  – й столбец, а коэффициенты при полюсных функциях  $h$  будут пересчитаны по формулам, стоящим в скобках перед ними. Соответственно, в матрице узловых параметров необходимо исключить  $k$  – ю строку и  $k$  – й столбец, что будет соответствовать преращению  $k$  –го полюса во внутренний узел (операция поглощения полюса).

Выражения для пересчета коэффициентов в новой системе имеют общий вид:

$$\begin{aligned}
 y_{11}^* &= y_{11} - \frac{y_{1k}y_{k1}}{y_{kk}}; \dots y_{1(k-1)}^* = y_{1(k-1)} - \frac{y_{1k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}}; \\
 y_{1(k+1)}^* &= y_{1(k+1)} - \frac{y_{1k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}}; \dots y_{1(n+1)}^* = y_{1(n+1)} - \frac{y_{1k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}}. \\
 y_{21}^* &= y_{21} - \frac{y_{2k}y_{k1}}{y_{kk}}; \dots y_{2(k-1)}^* = y_{2(k-1)} - \frac{y_{2k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}}; \\
 y_{2(k+1)}^* &= y_{2(k+1)} - \frac{y_{2k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}}; \dots y_{2(n+1)}^* = y_{2(n+1)} - \frac{y_{2k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}}. \\
 & \dots \dots \dots \\
 y_{(n+1)1}^* &= y_{(n+1)1} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k1}}{y_{kk}}; \dots y_{(n+1)(k-1)}^* = y_{(n+1)(k-1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(k-1)}}{y_{kk}}; \\
 y_{(n+1)(k+1)}^* &= y_{(n+1)(k+1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(k+1)}}{y_{kk}}; \dots y_{(n+1)(n+1)}^* = y_{(n+1)(n+1)} - \frac{y_{(n+1)k}y_{k(n+1)}}{y_{kk}}.
 \end{aligned}$$

Процедура приведения  $(n + 1)$  – полюсника к четырехполюснику предполагает последовательное исключение всех полюсов кроме полюсов выделенного канала передачи информации. Выполнение этой процедуры позволяет найти первый регулировочный признак на основе получения первой конечной матрицы первого четырехполюсника (Рис. 2).

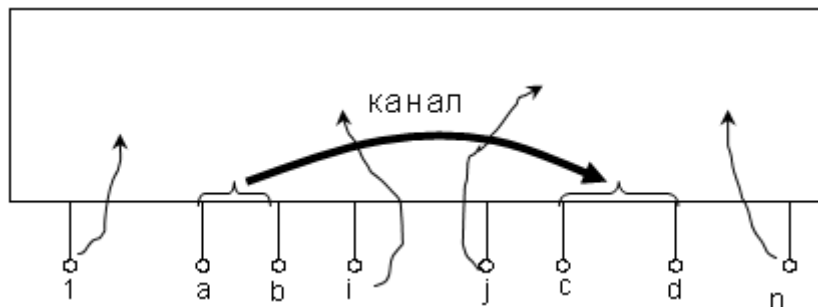


Рис. 2. Выделение каналов передачи информации многополюсника.  $ab$  – вход канала,  $cd$  – выход канала

Алгоритм пересчета коэффициентов первой матрицы первого четырехполюсника включает выделение первого информационного канала с полюсами  $b$  на входе и полюсами  $d$  на выходе, соответствующим полюсным функциям  $f_a, f_b, f_c, f_d$  в системе (1). Эти полюсы оставляют внешними. Все остальные полюсы преобразуют во внутренние узлы (их полюсные функции считаются равными нулю).

Если обозначить через  $k$  – количество полюсов преобразуемых во внутренние узлы, а через  $S$  – количество полюсов, оставляемых внешними, то  $k = n + 1 - S$ , где  $n + 1$  – размер матрицы системы (1).

Выражения для пересчета коэффициентов промежуточных матриц при «поглощении» очередного внешнего полюса получаются при приравнивании коэффициентов при одинаковых полюсных функциях  $h_k$ :

$$y_{ij}^* = y_{ij} - \frac{y_{ik}y_{kj}}{y_{kk}}, \quad (2)$$

где  $i, j$  – текущие индексы,  $k$  – номер полюса, преобразуемого во внутренний. После преобразования всех  $k$  полюсов во внутренние переходим от матрицы  $(n + 1)$  – го порядка к матрице  $S$  – го порядка (т.е. четвертого). Аналогичные преобразования необходимо выполнить после выделения в многополюсной системе второго и последующих каналов передачи информации. Общее количество каналов передачи информации определяется комбинаторно и составляет величину  $M$ :

$$M = (C_{n+1}^2 - 1)C_{n+1}^2,$$

где  $n + 1$  – порядок матрицы  $[Y]$ ;  $C_{n+1}^2$  – количество сочетаний из  $n + 1$  элементов по два. Полученные в результате приведенных преобразований матрицы четвертого порядка в количестве  $M$  служат исходными данными для формирования массива НП системы. Если задан исходный топологический граф системы, включающий параметры СК (Рис.3),

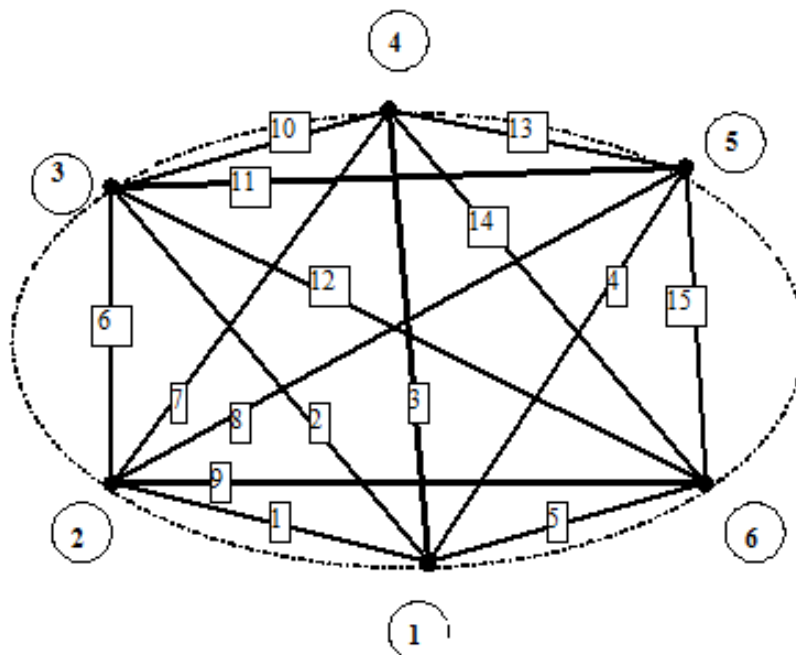


Рис. 3. Топологический граф системы

Полная матрица узловых параметров системы будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} 15 & -1 & -2 & -3 & -4 & -5 \\ -1 & 31 & -6 & -7 & -8 & -9 \\ -2 & -6 & 41 & -10 & -11 & -12 \\ -3 & -7 & -10 & 47 & -13 & -14 \\ -4 & -8 & -11 & -13 & 51 & -15 \\ -5 & -9 & -12 & -14 & -15 & 55 \end{pmatrix}$$

Приступая к процедуре исключения полюсов, оставляем внешними полюса 1,2,5,6. Полюсы 3,4 преобразуем во внутренние узлы, используя формулу для пересчета коэффициентов системы (2). Процедура выполняется последовательно с каждым полюсом [2, 3].

В качестве языка для написания программ используем язык программирования системы MathCad 13. Сначала преобразуем третий полюс. Получим новую матрицу пятого порядка:

$$y1 = \begin{pmatrix} 14.902 & -1.293 & -3.488 & -4.537 & -5.585 \\ -1.293 & 30.122 & -8.463 & -9.61 & -10.756 \\ -3.488 & -8.463 & 44.561 & -15.683 & -16.927 \\ -4.537 & -9.61 & -15.683 & 48.049 & -18.22 \\ -5.585 & -10.756 & -16.927 & -18.22 & 51.488 \end{pmatrix}$$

Полученную после исключения третьего полюса матрицу считаем исходной. Далее преобразуем четвертый полюс во внутренний. Получим новую матрицу четвертого порядка:

$$A = \begin{pmatrix} 14.474 & -2.2 & -4.969 & -7.306 \\ -2.2 & 28.2 & -11.6 & -14.4 \\ -4.969 & -11.6 & 39.442 & -22.874 \\ -7.306 & -14.4 & -22.874 & 44.579 \end{pmatrix}$$

Матрица  $A$  является матрицей четырехполюсника. Алгоритм разработанной процедуры в виде блок-схемы представлен на рис.4.

Рассмотренная процедура легко формализуема при машинной обработке информации, что расширяет возможности разработчика при решении задач идентификации и параметрического регулирования [2, 4].

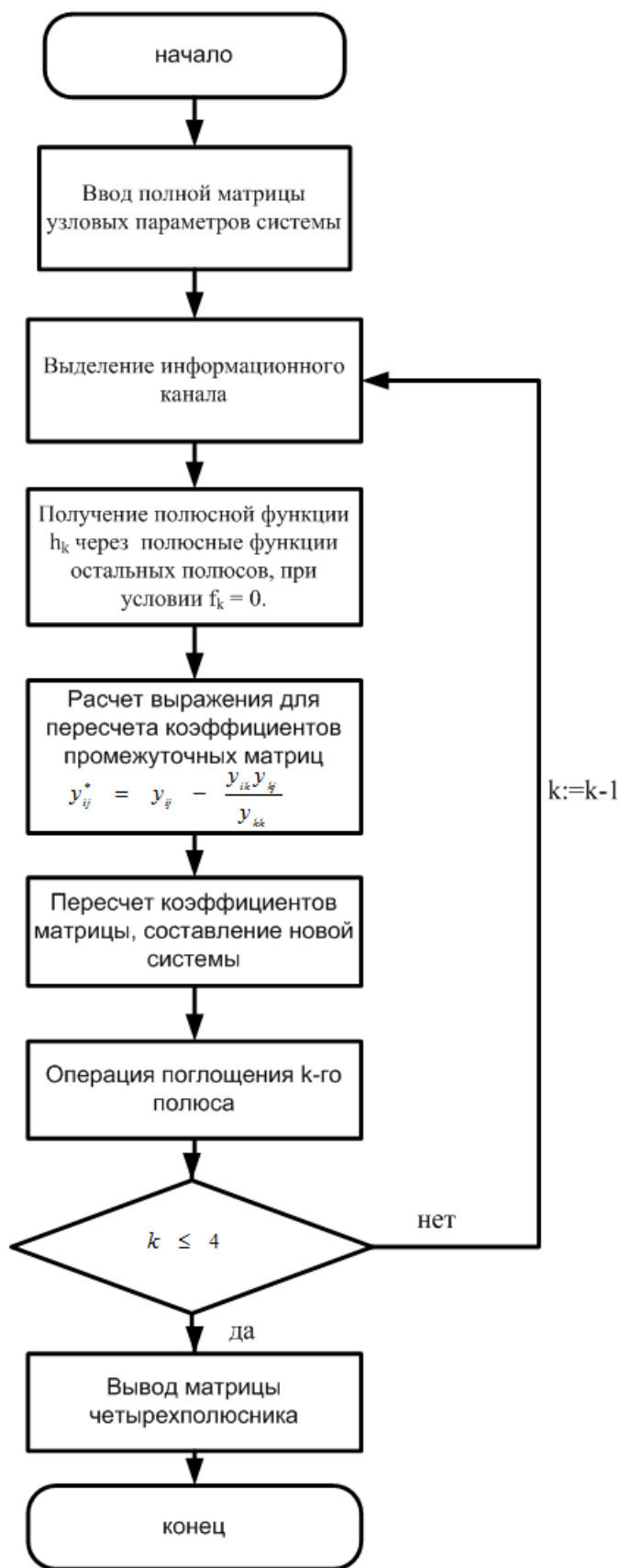


Рис. 4. Блок-схема алгоритма метода исключения внешнего полюса многополюсника.



## Литература

1. Блинов Э. К., Розенберг Г. Ш. Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник. – СПб: Судостроение, 1992.
2. ГОРЕВА Т.И., ПОРТНЯГИН Н.Н., ГОРЕВА Т.С., ПЮККЕ Г.А. Использование метода исключения внешнего полюса многополюсника при построении модели регулирования многомерных систем // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – Вып. №8. – Ч.1. – С. 157–166.
3. ПОРТНЯГИН Н.Н., ПЮККЕ Г.А., ГОРЕВА Т.И. Параметрическая оптимизация судовых электрических средств автоматизации на основе использования метода исключения варьируемого параметра // *Успехи современного естествознания*. – 2011. – №4. – С.150–155.
4. ГОРЕВА Т.И. ГОРЕВА Т.С., ПОРТНЯГИН Н.Н., ПЮККЕ Г.А. Свидетельство об отраслевой регистрации комплекса программ для ЭВМ № 16510: «Программный комплекс построения модели регулирования многомерных систем на основе метода исключения внешнего полюса многополюсника» / М.: ИНИМ РАО, 2010 г.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 26.11.2011