

DATA ANALYSIS IN A PROBLEM OF STATIC SYSTEMS IDENTIFICATION

The authors investigate a problem of identification of multidimensional inertia-free system with delay in conditions of non-parametric uncertainty. The main emphasis is laid on the problem of filling of a matrix of observation for the case when control discretenesses of "input-output" variables differ very much. The filling of the observation matrix technique is offered, numerical results of calculation experiments, illustrating the efficiency of the offered technique for identification problems solving, are given.

Keywords: inertia-free object, non-parametric models, non-parametric estimation, stochastic system, matrix of observation.

© Корнеева А. А., Сергеева Н. А., 2012

УДК 621(075.8)

Е. И. Кротова

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предлагается метод автоматического контроля процесса получения гранулированных материалов при использовании в качестве контролируемого параметра выборочных значений влажности с применением статистического анализа и идентификации вида распределения.

Ключевые слова: контроль, параметр, выборка, вид распределения, идентификация.

Материалы в оболочках используются в производстве строительных материалов, минеральных удобрений, лекарственных средств, в пищевой промышленности, машиностроении. Оболочки наносятся на металлы, химические соединения (гидриды, соли кислот, оснований), многие классы органических соединений: катализаторы, стабилизаторы, пластификаторы, жидкое и твердое топливо, красители, удобрения, пищевые добавки, ферменты, семена.

Нанесение оболочек на материалы (дражирование) позволяет уменьшить их реакционную способность, а также смешивать несмешивающиеся и реагирующие друг с другом соединения, придает материалам новые физические и физико-механические свойства: изменяет плотность, гранулометрический состав, форму и т. д.

Методы нанесения оболочек могут быть разделены на три основные группы: химические, физико-химические, физические [1; 2].

Все известное оборудование для нанесения оболочек на гранулированные материалы физическими методами можно разделить на оборудование, в котором технологический процесс осуществляется в разреженных потоках практически без взаимодействия гранул между собой (это детерминированные рабочие процессы), и оборудование, в котором процессы нанесения оболочек осуществляются в концентрированных слоях зернистых материалов при активном их перемешивании (стохастические рабочие процессы) [3].

Оборудование второго типа включает в себя в основном барабанные и тарельчатые машины различных типов и оборудование с псевдоожиженным слоем [3].

Наибольшей функциональностью и производительностью обладают барабанные дражирователи, в которых рост гранул сопровождается их сушкой, однако особенности конструкции этих дражирователей затрудняют осуществление автоматизированного контроля качества получаемых гранул [3].

Объектом исследования в данной статье является процесс нанесения оболочек на гранулы в барабанных дражирователях.

Существующие математические методы описания процесса гранулирования требуют большого объема экспериментальных данных при подборе эмпирических коэффициентов и не всегда учитывают картину движения сыпучего материала, процессы истирания и сушки, а недостаточность теоретических знаний затрудняет создание нового высокоэффективного оборудования и определение оптимальных режимных параметров, что, как правило, приводит к неоправданным затратам энергии и снижению качества продукции.

При решении вопроса о контроле физико-химических свойств сыпучих материалов, к которым относится и влажность, необходимо:

- выбрать оптимальное число и род параметров, характеризующих сыпучий материал;
- определить объем представительной выборки;

– разработать методы нахождения аналитической формы распределения, адекватной реальному распределению значений контролируемого параметра [1; 2].

При выборе параметров, по которым будет производиться контроль оборудования переработки сыпучих материалов, например их гранулирования, нужно учитывать, что обычно используются показатели готового продукта по влажности, температуре, гранулометрическому составу, цвету, вкусу и другим характеристикам качества готового вещества, полученные от датчиков. Недостатком такого контроля является отсутствие возможности управления технологическим процессом на различных стадиях.

Известно, что технологические параметры установок гранулирования рассчитываются из условия, что влажность материала имеет фиксированное значение, однако это требование редко выполняется из-за низкого качества исходного сырья.

В настоящее время для контроля влажности в большинстве случаев используются прямые и косвенные методы [2]. Прямые методы основаны на химическом, весовом определении влагосодержания в готовом продукте после окончания технологического процесса. Косвенные методы, которые делятся на электрические и неэлектрические, основаны на том, что измеряется величина, функционально связана с влагосодержанием материала. Среди косвенных методов измерения наиболее распространенными являются электрометрические методы, в которых влагосодержание преобразуется в электрическую величину: сопротивление, проводимость, емкость.

Проведенный в [2] анализ достоинств и недостатков этих методов позволил предложить следующее решение задачи повышения эффективности технологических устройств переработки сыпучих материалов: непостоянство значений параметра влажности, считающееся недостатком автоматических устройств контроля, несет в себе информацию о различном влагосодержании в разных частях объема гранулируемого сырья, наличии примесей, неоптимальности теплового режима, присутствии комков в порошковых добавках, плохом перемешивании жидкости мешалкой и т. п. А поскольку исходный сыпучий материал для получения гранул состоит из множества частиц, то для описания его свойств необходимо использовать статистический анализ, при этом фиксированные значения параметров гранулируемых материалов заменяются их средними значениями (математическими ожиданиями) [4].

В случае если частицы сыпучего материала имеют близкие значения влажности, они распределены по нормальному закону, однако при значительном разбросе значений влажности частиц вид распределения отличается от нормального. Таким образом, контроль качества гранулируемого сырья и диагностику работы технологического оборудования можно проводить на всех стадиях технологического процесса, исходя из вида распределения контролируемого параметра влажности.

Подобный подход применим и к установкам дражирования семян, главным требованием к которым является сохранение готового продукта без ухудшения его качества.

При разработке математической модели процесса получения монодисперсных и полидисперсных гранул используется модель системы «ресурс–потребитель», а в качестве основного параметра, характеризующего этот процесс, берется время роста гранул, совпадающее со временем сушки τ , поскольку в барабанных дражирователях эти процессы совмещаются [1–3].

В соответствии с общими принципами системно-структурного анализа химико-технологических систем и процессов, в них происходящих, множество системообразующих параметров $\{u\}$ необходимо разбить на четыре основные группы [2]:

- $\{u_k\}$ – множество конструктивных параметров;
 - $\{u_R\}$ – множество режимных параметров;
 - $\{u_{фМ}\}$ – множество физико-механических параметров;
 - $\{u_T\}$ – множество технологических параметров.
- Для барабанного дражирователя имеем:
- множество $\{u_k\}$ – радиус и длина барабана;
 - множество $\{u_R\}$ – угловая скорость барабана, угол загрузки компонентов, объемно-весовые характеристики компонентов;
 - множество $\{u_{фМ}\}$ – радиусы и плотности частиц ресурса (материала оболочки) и зерна гранулы (потребителя);
 - множество $\{u_T\}$ – влажность зерна гранул, скорость дополнительной подачи ресурса за время в начале технологического процесса нанесения оболочки, скорость и температура сушки.

Для контроля процесса сушки, а следовательно и энергосбережения, необходимо учитывать влажность гранул в конце каждой стадии. Это позволяет изменять время сушки, т. е. время пребывания в дражирователе, в зависимости от влажности гранул, благодаря чему становится возможной автоматизация технологического процесса.

Для исследования зависимости времени сушки τ от влажности гранул на стадиях дражирования будем использовать идентификацию вида распределения значений влажности гранул.

В [1; 2] проанализирована модель скорости роста двуслойных гранул оболочки на грануле в процессе дражирования. Из уравнения для скорости роста гранул можно выразить время роста гранул τ , совпадающее со временем сушки [2]:

$$\tau = -\frac{1}{\gamma} \ln \left[-\frac{\gamma}{K} \ln \left[W (1 + c_0 z_2)^{1/2} + (H c_0 - L) z_2 + H \right] \right]. \quad (1)$$

В уравнение (1) введены сложные коэффициенты, содержащие системообразующие параметры $\{u\}$ [2]:

$$\gamma = -d(T) T_1, \quad K = b_0 \left[\frac{\omega_0 R_0}{R_0 - R_c} + d(T) \right],$$

$$W = AD\beta, H = AGD, L = KT_1,$$

$$A = a_0 \frac{\omega_0 R_0 T_1 p_2}{c_0 r_0}, \quad D = e^{-\lambda(T) \left[\frac{r_1}{r_0} \right]^2} a_w a_1(z_1),$$

$$\beta = a_1(z_{12}),$$

$$G = 2[\beta + B], \quad B = \frac{2r_0 p_1 a_1(z_{11})}{(R_0 - R_c) p_2},$$

$$a_w = \exp \left\{ -\frac{(w - w_0)^2}{\sigma_w} \right\},$$

где T_1 – время подачи покрывающего материала; a_0, b_0 – экспериментальные коэффициенты; ω_0 – частота вращения барабана; R_0 – радиус дражировочного барабана; R_c – радиус верхней границы слоя; $d(T)$ – скорость сушки; p_1, p_2 – вероятности пребывания частиц в зонах 1 и 2 (ската и подъема частиц в барабане); c_0 – соотношение материала ресурса и потребителя; r_0 – радиус частицы ядра; $\lambda(T)$ – параметр локального влагоотделения; r_1 – радиус частицы материала оболочки; a_w – фактор влажности; $a_1(z_1)$ – закон роста оболочки; $a_1(z_{11}), a_1(z_{12})$ – законы скорости роста оболочки на ядре гранулы в зонах 1 и 2, задаваемые для каждого конкретного агрегата; w – конечная влажность гранул; w_0 – начальная влажность гранул; σ_w – среднеквадратичное отклонение влажности от технологически заданного значения.

В работе [1] предлагается параметр идентификации вида распределения Z , определяемый суммой отношения энтропийного коэффициента k_3 к контрэксцессу χ и учетверенного коэффициента асимметрии s , полученных для массива отсчетов влажности [4]:

$$Z = \frac{k_3}{\chi} + 4s. \quad (2)$$

Процесс изменения влажности гранул в дражираторе описывается соотношением [2]:

$$w_t \geq w_0 e^{-d(T)T_1\tau}, \quad (3)$$

где w_t – текущее значение влажности; w_0 – начальная влажность; $d(T)$ и T_1 определены ранее; τ рассчитывается по (1).

При достижении w_t значения конечной влажности w процесс гранулирования прекращается и готовый продукт можно выгружать.

Рассмотрим структурную схему системы контроля влажности гранулированных материалов [5], основанную на применении предложенного метода автоматического контроля параметров технологического процесса (рис. 1).

Датчик изменяет свои электрические свойства (сопротивление) в зависимости от влажности материала, в который он помещен. Выходной сигнал с датчика подается на вход электронного измерителя-преобразователя, в котором осуществляется преобразование «сопротивление–частота», а затем измеренное значение частоты отображается в визуальной форме с помощью индикатора.

С другого выхода измерителя-преобразователя массив данных задаваемого объема N в виде выборки значений частоты $x(t)$, пропорциональных влажности гранулированного материала, подается на вход идентификатора вида (закона) распределения, в котором осуществляется идентификация закона распределения плотности вероятности по параметру Z . На выходе идентификатора формируются среднеквадратичное отклонение σ_t и величина отклонения δ_t , характеризующая нормальный закон распределения значений частоты, соответствующих выборкам влажности $x_j(t)$.

Параметр S_t является определяющим для операции задания режима сушки, а именно времени сушки τ в случае, если распределение влажности является нормальным. При отличии закона распределения от нормального происходит останов технологического процесса гранулирования и сушки.

Электронный измеритель-преобразователь (рис. 2) работает следующим образом.

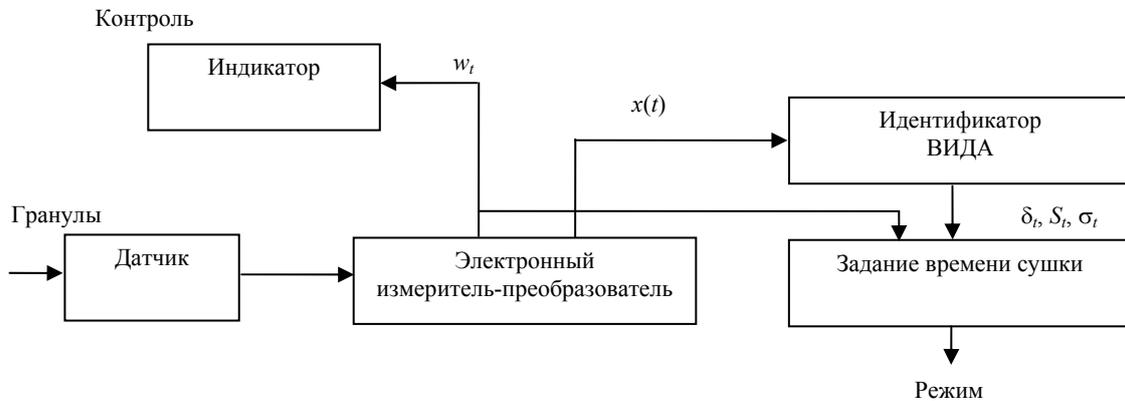


Рис. 1. Структурная схема системы контроля влажности гранул

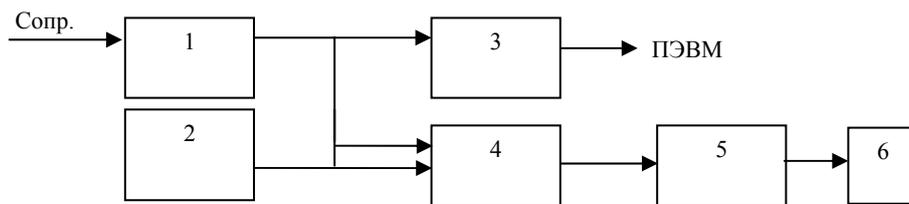


Рис. 2. Структурная схема электронного измерителя-преобразователя

Сопротивление датчика (Сопр.) включено в схему измерительного генератора 1. При изменении сопротивления датчика в зависимости от влажности материала происходит изменение частоты этого генератора. С помощью частотомера 3 данное изменение фиксируется и вводится в виде числового файла (вручную или автоматически с выхода частотомера 3 на ПЭВМ) в программу идентификации вида распределения.

Для обеспечения оперативного контроля сушки гранул предусмотрена операция сравнения частоты измерительного генератора 1 с частотой опорного генератора 2 при помощи устройства сравнения 4. Выходное напряжение этого устройства интегрируется с помощью интегратора 5. Время интегрирования выбирается с учетом инертности датчика. При равенстве частот на выходе интегратора будет получен такой уровень напряжения, который приведет к включению индикатора 6 при достижении требуемой конечной (заданной технологически) влажности.

Индикатор 6 представляет собой ключевую схему, состоящую из компаратора и транзисторного ключа, управляющего включением и выключением лампочки или светодиода.

Экспериментальные исследования проводились при дражировании семян в барабанном дражираторе. Контроль влажности осуществлялся следующим образом: предварительно отградуированный датчик погружался в материал на глубину 5...10 см. Далее проводились контроль и фиксирование значений частоты измерительного генератора с помощью частотомера и ввод его показаний в виде числового файла в ПЭВМ, где реализовался алгоритм идентификации при объеме выборки $N = 100$. После получения информации о виде закона распределения частоты измерительного генератора, соответствующей влажности материала, по формуле (1) определялось оптимальное время сушки для заданной конечной влажности готового продукта. При этом контролировалось состояние ин-

дикатора (лампочки), который при достижении заданной конечной влажности выключался.

Эффективность предложенного метода автоматического контроля с идентификацией оценивалась с помощью относительного уменьшения времени технологического процесса Δ гранулирования семян [6]:

$$\Delta = [(\tau' - \tau)/\tau']100 \%, \quad (4)$$

где τ' – время сушки без идентификации; τ – время сушки в дражираторе с применением автоматического контроля влажности и идентификацией вида распределения ее выборочных значений.

Зависимость Δ от начальной влажности гранул w_0 при двойной и тройной относительной толщине оболочки z_2 приведена в таблице и на рис. 3. Начальная влажность соответствует оценке среднего значения m_1^* ее значений x_i :

$$w_0 = m_1^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (5)$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- созданная модель сушки гранулированных материалов, учитывающая связь начальной и конечной (заданной технологически) влажности, позволяет определить необходимое время сушки;
- разработанное электронное устройство для автоматического контроля влажности гранул в смесителях-дражираторах показало надежность при апробации в условиях производства.
- предложенный метод контроля параметров технологического процесса с использованием статистических характеристик и идентификацией распределения выборочных значений влажности обеспечивает наблюдение за процессом в режиме реального времени и приводит к значительному сокращению времени сушки (до 4 ч) при нормальном распределении значений влажности с точностью 5 %, что снижает энергозатраты при гранулировании.

Таблица

$w_0, \%$	$\tau', \text{ ч}$		$\tau, \text{ ч}$		$\Delta, \%$	
	$z_2 = 2$	$z_2 = 3$	$z_2 = 2$	$z_2 = 3$	$z_2 = 2$	$z_2 = 3$
25	17	21	6	8	64	61
20	13	17	5	7	61	58
15	11	13	4	6	63	53
10	10	11	3	5	70	54

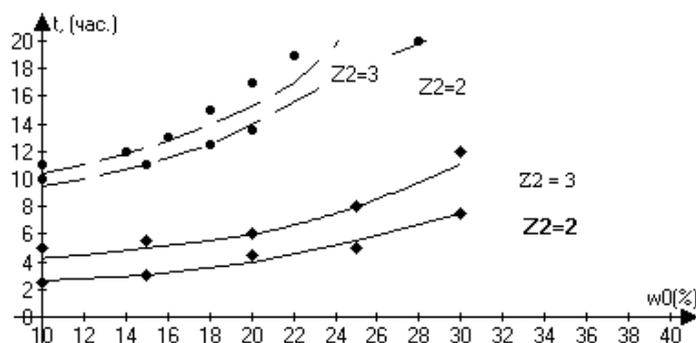


Рис. 3. Зависимость времени сушки τ от начальной влажности w_0 гранул для двойной и тройной относительной толщины оболочки z_2 :

— — — расчетные значения без идентификации; — — — расчетные значения с идентификацией (нормальное распределение);
 ●●● — экспериментальные результаты без идентификации; ◆◆◆ — экспериментальные результаты с идентификацией (нормальное распределение)

При этом если начальная влажность сыпучего материала имеет значительный разброс значений и их распределение отличается от нормального, то до начала подачи покрывающего вещества оболочки исходный материал нужно предварительно просушить до получения нормального распределения влажности со средним значением, соответствующим технологической норме.

Библиографические ссылки

1. Кротова Е. И. Моделирование работы алгоритма идентификации закона распределения влажности гранулированных материалов // Информационные технологии моделирования и управления : междунар. сб. тр. / под ред. О. Я. Кравца. Вып. 18. Воронеж : Науч. кн., 2004. С. 95–101.
2. Кротова Е. И. Разработка метода расчета процесса сушки гранулированных материалов с исполь-

зованием средств автоматизации : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ярославль, 2006.

3. Классен П. В., Гришаев И. Г. Основы техники гранулирования (Процессы и аппараты химических и нефтехимической технологий). М. : Химия, 1982.

4. Кротова Е. И. Идентификация типа распределений результатов экспериментальных исследований // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1998. № 1. С. 57–59.

5. Пат. РФ № 2195099, МКП⁷ А 01 С 1/06. Дражиратор / Зайцев А. И., Миронов Б. А., Зайцев И. А. и др. ; заявитель и патентообладатель Ярослав. гос. техн. ун-т. № 99124455/13 ; заявл. 22.11.1999 ; опубл. 27.12.2002, Бюл. 36.

6. Кротова Е. И. Модель блока контроля состояния системы по виду распределения контролируемых параметров // Компьютерное и математическое моделирование в естественных и технических науках : сб. тр. IV Всерос. науч. интернет-конф. Вып. 21. Тамбов, 2002. С. 75.

Е. И. Krotova

METHOD OF AUTOMATIC QUALITY ASSURANCE OF WORK OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS

The author presents a method of automatic control of process of production of granulated materials with the use as controllable parameter of selective values of humidity with application of statistical analysis and identification of a kind of distribution.

Keywords: control, parameter, sample, kind of distribution, identification.

© Кротова Е. И., 2012

УДК 519.6

А. А. Кузнецов, А. С. Кузнецова

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ ДВУПОРОЖДЕННЫХ ГРУПП ПЕРИОДА 5*

Пусть $B_0(2, 5, k)$ – максимальная конечная двупорожденная бернсайдова группа периода 5 степени нильпотентности k и $\{a_1, a_2\}$ – порождающие элементы данной группы. Проведены вычисления функции роста групп $B_0(2, 5, k)$ относительно порождающего множества $A = \{a_1, a_1^{-1}, a_2, a_2^{-1}\}$ для случаев $k = 1, 2, 3, 4, 5$.

Ключевые слова: группы Бернсайда, функция роста, диаметр Кэли.

Пусть $B_0(2, 5, k)$ – максимальная конечная двупорожденная бернсайдова группа периода 5 степени нильпотентности k . В данном классе групп наибольшей является группа $B_0(2, 5, 12)$, порядок которой равен 5^{34} [1]. Положим, что $\{a_1, a_2\}$ – порождающие элементы $B_0(2, 5, k)$.

Авторами вычислены функции роста указанных групп для порождающего множества $A = \{a_1, a_1^{-1}, a_2, a_2^{-1}\}$ при $k \leq 5$. Функция роста группы $B_0(2, 5, 6)$ относительно A получена Ч. Симсом в работе [2].

На множестве A введем отношение порядка \prec (меньше): $a_1 \prec a_1^{-1} \prec a_2 \prec a_2^{-1}$.

Для получения функции роста и диаметра Кэли относительно A необходимо перечислить все элементы группы в формате минимальных слов [2], а после определения количества слов на каждой длине можно будет найти функцию роста группы, при этом максимально возможная длина минимальных слов будет являться диаметром Кэли группы.

Отметим, что для случаев $k = 2, 3, 4, 5$ были использованы компьютерные вычисления, основанные на алгоритме перечисления элементов группы.

Алгоритм перечисления элементов группы. Пусть p – простое число, а G – конечная группа экспоненты p . Это значит, что $g^p = 1$ для всех $g \in G$. Так как группа G нильпотентна, то мы можем найти цепочку подгрупп $G_i (1 \leq i \leq n)$, обладающих следующими свойствами:

- $G = G_1 \supset G_2 \supset \dots \supset G_n \supset G_{n+1} = e$;
- G_i нормальны в G ;
- факторы G_i / G_{i+1} имеют порядок p и лежат в центре G / G_{i+1} .

Пусть для $1 \leq i \leq n$ элемент $a_i \in G_i$, но $a_i \notin G_{i+1}$. Тогда каждый элемент группы $g \in G$ однозначным образом записывается в виде

$$g = a_1^{\gamma_1} a_2^{\gamma_2} \dots a_n^{\gamma_n}, 0 \leq \gamma_i \leq p. \quad (1)$$

Такое представление элементов группы (р-представление) можно получить при помощи алгоритма, известного как P-Quotient Algorithm [3]. Он реализован в системах компьютерной алгебры GAP и Magma.

Если A – порождающее множество группы G , то любой ее элемент, записанный в виде слова $a_1 a_2 \dots a_s$, где $a_i \in A$, можно преобразовать к виду (1):

$$a_1 a_2 \dots a_s \xrightarrow{pq} a_1^{\gamma_1} a_2^{\gamma_2} \dots a_n^{\gamma_n}. \quad (2)$$

Процедура (2) дает возможность решить проблему равенства слов в G . На ее основе мы можем перечислить элементы G в формате минимальных слов.

Обозначим через $K_s(G)$ множество всех минимальных слов группы G , не превосходящих по длине s , через множество $Q_s(G)$ – элементы $K_s(G)$, записанные в виде правой части (2), через e – пустое слово – единицу группы.

Пусть $s_0 \in \mathbb{N}$ – минимальное число, для которого выполняется равенство $K_{s_0}(G) = K_{s_0+1}(G)$. В этом случае s_0 будет являться диаметром Кэли группы G . Опишем алгоритм, вычисляющий K_s .

Шаг 1: $s = 0, K_0 = \{e\}, Q_0 = \{e\}, T = K_0$.

Шаг 2: $s = s + 1, K_s = K_{s-1}, Q_s = Q_{s-1}, V = xT \cup yT, T = \emptyset, i = 1$.

Шаг 3. Для $v_i \in V \hat{v} = f(v_i)$. Если $\hat{v} \notin Q_s$, то $K_s = K_s \cup v_i, Q_s = Q_s \cup \hat{v}, T = T \cup v_i$.

Шаг 4. Если $i < |V|$, то $i = i + 1$ и переход на шаг 3; если $i = |V|$, то переход на шаг 5.

Шаг 5. Если $T \neq \emptyset$, то переход на шаг 2; если $T = \emptyset$, то переход на шаг 6.

Шаг 6. Если диаметр G равен $s - 1$, то тогда $K_{s-1}(G)$ – множество всех минимальных слов группы.

Шаг 7. Завершение работы алгоритма.

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд науки и научно-технической деятельности».