

Федяев О.И. Нейросетевые модели многоагентной системы прогнозирования остаточных знаний студентов. Научная работа посвящена разработке нейросетевой модели процесса обучения студентов для агентной системы моделирования рынка труда. Эта модель имитирует процесс передачи профессиональных навыков и знаний в зависимости от личностных характеристик студентов. Система моделирования на основе искусственных агентов позволит анализировать процесс подготовки молодых специалистов и прогнозировать возможность их дальнейшего трудоустройства.

Ключевые слова: модель обучения, профессиональные знания, ментальность, студент, нейронная сеть

Fedyayev O.I. Neural network models of a multi-agent system for forecasting students' residual knowledge. The scientific work is devoted to the development of a neural network model of the learning process for students agent system modeling of the labor market. This model simulates the transfer of skills and knowledge, depending on the personal characteristics of students. The system will allow the simulation to analyze the process of training young professionals and to predict their future employment prospects.

Keywords: model of training, professional knowledge, mentality, student, neural network

Статья поступила в редакцию 20.5.2017

Рекомендована к публикации д-ром физ.-мат. наук А.С. Миненко

УДК 621.3.036.53

Математическое моделирование теплового состояния футеровки печи в условиях вынужденного простоя в среде LabVIEW

А.Ю. Харитонов, А.Б. Бирюков, А.В. Пересекин, С.П. Барков
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра компьютерного моделирования и дизайна
alexperesekin@gmail.com

Харитонов А.Ю., Бирюков А.Б., Пересекин А.В., Барков С.П. Математическое моделирование процесса футеровки печи в среде LabVIEW. Рассмотрена актуальная проблема потери тепла в процессе футеровки печи и разработана методика, позволяющая с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи. Для визуальной и динамической диагностики использовано математическое моделирование теплового состояния футеровки печи, которое было запрограммировано в среде LabVIEW.

Ключевые слова: футеровка, печь, теплота, теплосодержание, математическая модель, рабочая среда, блок-диаграмма, цикл, теплопроводность, функция, уравнение, температура, использованием метода

Актуальность

Потери теплоты из рабочего пространства имеют место в любых печах, но наиболее существенны в термических печах и печах циклического действия, когда в цикл термообработки входит охлаждение печи до низкой температуры, или когда такое охлаждение обусловлено длительными промежутками между циклами нагрева.

Для таких печей потери тепла формируются по трем принципиально различным направлениям: через огнеупорную кладку, на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство через неплотности конструктивных элементов и огнеупорной кладки, охлаждение глиссажных труб в сварочной и методической зонах печи.

Данные направления удобно анализировать с помощью математического моделирования.

Постановка задачи

Важной производственной задачей является создание методики по определению остаточного теплосодержания футеровки печи, позволяющей прогнозировать тепловое состояние футеровки печи после простоев произвольной продолжительности. Эта информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу печи в рабочее тепловое состояние.

Задача определения теплосодержания футеровки может быть решена как с

математического моделирования, так и с помощью оперативной диагностики на основе анализа моментальных тепловых балансов [1–3].

В этих работах показан ряд подходов, расширяющих информативность математических моделей и возможности использования данных, предоставленных с их помощью, для углубленного анализа теплового состояния. Однако в ряде случаев требуется создание быстродействующих, безусловно устойчивых и значительно более простых вычислительных алгоритмов. Для этих целей более подходят инженерные методики.

Разработанная методика [4] позволяет с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи после простоя произвольной продолжительности. Эта информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу печи в рабочее тепловое состояние.

Для визуализации методики использована рабочая среда LabVIEW, которая способна рассчитывать математическую модель, её цикл в реальном времени. Среда позволяет вычислять значения, запоминать, и выводить на интерфейс цифровые значения и графики.

Использована рабочая среда LabVIEW для визуализации динамичного процесса футеровки печи. Она позволяет в реальном времени анализировать постоянные изменения параметров теплоты, его потери, различных температур.

LabVIEW – это среда графического

программирования, которую используют технические специалисты, инженеры, преподаватели и ученые по всему миру для быстрого создания комплексных приложений в задачах измерения, тестирования, управления, автоматизации научного эксперимента и образования. В основе LabVIEW лежит концепция графического программирования – последовательное соединение функциональных блоков на блок-диаграмме.

Вместо того, чтобы писать программный код, достаточно соединить между собой рабочие блоки. LabVIEW использует концепцию графического программирования G, поэтому код имеет вид блока-диаграммы, которая потом компилируется в машинный код. Код программы в виде блок-диаграммы гораздо удобнее для понимания и разработки.

Вторая особенность LabVIEW – это поддержка выполнения кода, написанного на языке G, в режиме потока данных (потокное программирование), в то время как традиционные текстовые языки (например, C и C++) обеспечивают выполнение кода в виде последовательности команд. В основе языков потокового программирования (таких как G, Agilent VEE, Microsoft Visual Programming Language и Apple Quartz Composer) лежит концепция потока данных, который и определяет последовательность выполнения функциональных узлов программы.

Потоковое программирование в среде LabVIEW позволяет разработчику полностью сфокусироваться на данных и путях их обработки. Узлы программы – функции, циклы и прочие конструкции языка – получают данные через входы, производят их обработку и выводят данные с помощью выходов. Как только значения параметров поступают на каждый из входных терминалов узла, происходит выполнение кода узла (обработка поступивших данных), после чего значения выходных параметров оказываются доступными на выходных терминалах узла для дальнейшей их передачи на другие узлы согласно логике потока данных. [5]

LabVIEW позволяет работать со всем оборудованием в единой среде. Подключение устройств обеспечивается с помощью драйверов LabVIEW, которые образуют промежуточный слой между оборудованием и средой разработки. Таким образом, в единой среде можно работать с различными типами интерфейсов, датчиков и приборов: устройствами сбора данных, модульными приборами, контроллерами управления движения и приводами, системами машинного зрения, беспроводными датчиками и ПЛИС. В редком случае, когда драйвера устройства

нет, вы можете импортировать драйвер из других сред разработки или использовать низкоуровневые функции, чтобы разработать собственный. [6]

Построение математической модели

Была разработана математическая модель, описывающая процесс футеровки печи. В ней содержится ряд уравнений.

Сначала находится начальный тепловой поток (1.1, 1.2, 1.3):

$$\alpha_k = 1,65 \sqrt[4]{tk_1 - t_{os}} = 3,69 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (1.1)$$

$$\alpha_{iz1} = 5 \times \frac{\left[\left[\frac{273 + tk_1}{100} \right]^4 - \left[\frac{273 + t_{os}}{100} \right]^4 \right]}{tk_1 - t_{os}} = 5,436 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (1.2)$$

$$q_1 = \frac{t_1 - t_{os}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_k + \alpha_{iz1}}} = 561,755 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (1.3)$$

где:

tk_1 – температура на внешней границе изоляционной печи, C;

t_{os} – температура окружающей среды, C;

δ_1 – толщина высокотемпературного слоя футеровки печи, м;

δ_2 – толщина основного слоя футеровки печи, м;

δ_3 – толщина изоляционного слоя футеровки печи, м;

λ_1 – теплопроводность высокотемпературного слоя футеровки в печи, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$;

λ_2 – теплопроводность основного слоя футеровки в печи, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$;

λ_3 – теплопроводность изоляционного слоя футеровки в печи, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$;

Рассчитываются температуры на границе слоев (1.4, 1.5, 1.6):

$$t_2 = t_1 - q_1 \times \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 969,122 \text{ C} \quad (1.4)$$

$$t_3 = t_1 - q_1 \times \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = 788,112 \text{ C} \quad (1.5)$$

$$t_4 = t_1 - q_1 \times \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = 76,556 \text{ C} \quad (1.6)$$

где:

t_1 – температура на внутренней границе футеровки, C;

Рассчитываются средние температуры слоев (1.7, 1.8, 1.9):

$$t_{1s} = \frac{t_1 + t_2}{2} = 1,11 \times 10^3 \text{ C} \quad (1.7)$$

$$t_{2s} = \frac{t_2 + t_3}{2} = 878,617 \text{ C} \quad (1.8)$$

$$t_{3s} = \frac{t_3 + t_4}{2} = 432,334 \text{ C} \quad (1.9)$$

Вычисляется тепловой поток (1.10, 1.11, 1.12):

$$\alpha'_k = 1,65 \sqrt[4]{t_4 - t_{os}} = 4,622 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \quad (1.10)$$

$$\alpha'_{iz1} = 5 \times \frac{\left[\left[\frac{273 + t_4}{100} \right]^4 - \left[\frac{273 + t_{os}}{100} \right]^4 \right]}{t_4 - t_{os}} = 6,539 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \quad (1.11)$$

$$q'_1 = \frac{t_1 - t_{os}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha'_k + \alpha'_{iz1}}} = 561,755 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \quad (1.12)$$

Вычисляется теплосодержание 1 м² основного слоя кладки (1.13, 1.14, 1.15, 1.16):

$$Q_{ak1} = 1 \times \delta_1 \times \rho_1 \times C_1 \times t_{1s} = 3,761 \times 10^3 \text{ кДж} \quad (1.13)$$

$$Q_{ak2} = 1 \times \delta_2 \times \rho_2 \times C_2 \times t_{2s} = 9,76 \times 10^5 \text{ кДж} \quad (1.14)$$

$$Q_{ak3} = 1 \times \delta_3 \times \rho_3 \times C_3 \times t_{3s} = 8,576 \times 10^4 \text{ кДж} \quad (1.15)$$

$$\Sigma Q_{ak} = Q_{ak1} + Q_{ak2} + Q_{ak3} = 1,066 \times 10^6 \text{ кДж} \quad (1.16)$$

где:

ρ_1 – плотность высокотемпературного слоя футеровки печи, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

ρ_2 – плотность основного слоя футеровки печи, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

ρ_3 – плотность изоляционного слоя футеровки печи, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

C_1 – теплоемкость высокотемпературного слоя футеровки печи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$;

C_2 – теплоемкость основного слоя футеровки печи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$;

C_3 – теплоемкость изоляционного слоя печи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$;

Находим потери тепла через кладку печи (1.17):

$$Q_{pk} = q'_1 \times 1 \times \tau = 2,041 \times 10^6 \text{ Дж} \quad (1.7)$$

где:

τ – временной интервал, с;

Рассчитываются потери тепла на нагрев атмосферного воздуха (1.18, 1.19):

$$Q_{ptv} = V_v \times C_v \times (t_1 - 100) \times \tau = 1,485 \times 10^5 \text{ Дж} \quad (1.18)$$

$$Q_{pv} = \frac{Q_{ptv}}{F_v} = 1,375 \times 10^3 \text{ Дж} \quad (1.19)$$

где:

V_v – объем воздуха, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

C_v – теплоемкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \times \text{К})}$;

F_v – площадь стен, м²;

Вычисляются общие потери тепла (1.20):

$$\Sigma Q_p = Q_{pk} + Q_{pv} = 2,042 \times 10^6 \text{ Дж} \quad (1.20)$$

Считается оставшееся теплосодержание в кладке (1.21):

$$Q_{ost1} = \Sigma Q_{ak} \times 1000 - \Sigma Q_p = 1,0063 \times 10^9 \text{ Дж} \quad (1.21)$$

Считается оставшееся тепло в первом, втором, и третьем слоях (1.22, 1.23, 1.24):

$$Q_{aost1} = \frac{Q_{ost1}}{1000} \times \frac{Q_{ak1}}{\Sigma Q_{ak}} = 3,754 \times 10^3 \text{ Дж} \quad (1.22)$$

$$Q_{aost2} = \frac{Q_{ost1}}{1000} \times \frac{Q_{ak2}}{\Sigma Q_{ak}} = 9,741 \times 10^5 \text{ Дж} \quad (1.23)$$

$$Q_{aost3} = \frac{Q_{ost1}}{1000} \times \frac{Q_{ak3}}{\Sigma Q_{ak}} = 8,559 \times 10^4 \text{ Дж} \quad (1.24)$$

Вычисляется среднемассовая температура первого слоя после одного интервала охлаждения (1.25):

$$t'_{1sm} = \frac{Q_{aost1}}{1 \times \delta_1 \times \rho_1 \times C_1} = 1,107 \times 10^3 \text{ C} \quad (1.25)$$

Вычисляется температура внутренней поверхности первого слоя (1.26):

$$t'_1 = t_1 \times \frac{t'_{1sm}}{t_{1s}} = 1,248 \times 10^3 \text{ C} \quad (1.27)$$

Полученная в предыдущем уравнении температура

является новым значением температуры t_1 и служит началом нового интервала расчета.

Результаты моделирования процесса

После разработки модели, произведена её адаптация в динамический процесс в среде LabVIEW. Визуальный интерфейс состоит из иллюстрации футеровки печи, гистограмм отклонения остатка теплоты в 3 слоях, поле изменения скорости процесса, поле, показывающее значение температуры на внутренней границе футеровки, и кнопки паузы и остановки для удобства проверки процесса. Скриншот начала работы процесса представлен на следующем рисунке (рис.1).

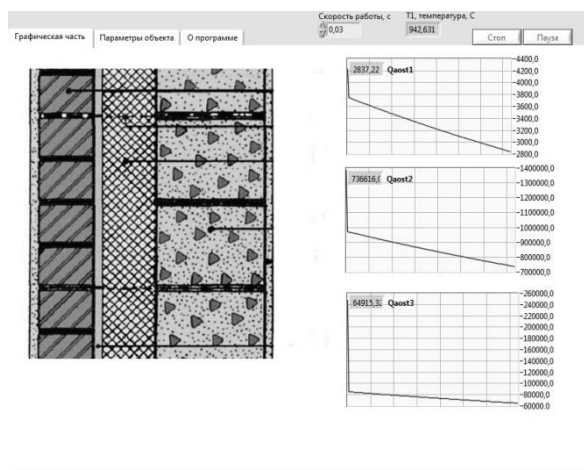


Рисунок 1 – Начало работы процесса футеровки печи в рабочей среде LabVIEW

Во время проверки работы процесса, значения оставшегося тепла в трех слоях начинали стабилизироваться, что показано на предыдущем рисунке. Падение температуры на внутренней границе футеровки также снизилось и в конечном результате приняло постоянное значение $t_1 \approx 15\text{ C}$, что привело к изменениям гистограмм оставшегося тепла в слоях (они имеют вид прямых). (см.рис.2)

В процессе создания блок-диаграммы вначале создается цикл While Loop, находящийся в функции Structures. Создается на лицевой панели кнопка Stop, которая укажет конец работы программы. Соединяется она с блоком цикла Stop if True. При нажатии кнопки остановки программы (Stop) передается значение True, в результате чего цикл заканчивается и, соответственно, программа.

Также была создана кнопка паузы программы (Pause). Она соединена с блоком цикла Continue if True. При передаче значения True, цикл переходит в режим паузы. Чтобы воспроизвести процесс, необходимо нажать на кнопку Pause опять.

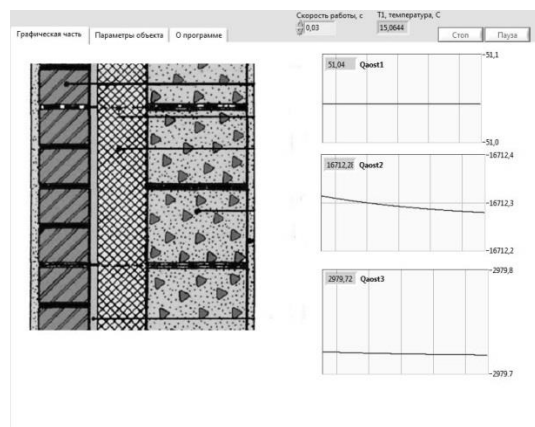


Рисунок 2 – Значения оставшегося тепла, указанные в гистограммах

Добавлен блок Wait (ms) из функции Timing для имитирования реального времени. Так как блок задержки времени работает в миллисекундах, его значение было умножено на 1000, чтобы задержка была на единицу секунды. Также, для удобства в лицевую панель добавлено численное управление временем для удобства диагностики процесса.

Для вычисления созданы алгоритмы последовательности блоков с различными математическими действиями. Для примера приведены уравнения 1.18, 1.19 и 1.20. Необходимо найти потерю тепла Q_{ptv} з уравнения 1.18. Для этого создается численная константа одноименного параметра. Прежде чем начать вычисление необходимо также создать исходные параметры других значений (или добавить в вычисление раннее найденные блоки), например V_v , C_v и т.д. По законам алгебры, необходимо решить действие в скобках, поэтому заранее вычисляется $(t_1 - 100)$. Создается блок Subtract из функции Numeric, объединяется с блоками t_1 и численной константой 100. Потом создается блок Compound Arithmetic, определяется для него действие умножения, и он объединяется с соответствующими блоками, чтобы получить произведение. В результате находится значение Q_{ptv} , которое выводится как блок управления значением. Это значение не нужно выводить на лицевую панель, поэтому оно скрывается.

Значение Q_{pv} из уравнения 1.19 находится как отношение. Создается блок Divide из функции Numeric и объединяются блоки Q_{ptv} и F_v с ним. Полученное значение также не нужно на лицевой панели.

Значение общих потерь тепла из уравнения 1.20 находится как сумма двух найденных предыдущих блоков. Создается блок

суммы Add функции Numeric и он объединяется с блоками значений Q_{pv} и Q_{ptv} . Получается значение общих потерь тепла $\sum Q_p$, его выводить не нужно.

Аналогичным образом создаются другие формулы, с разницей в операциях и входных данных.

Значения оставшегося тепла в трех слоях Q_{aost1} , Q_{aost2} и Q_{aost3} необходимо вывести в виде гистограмм. Для этого проводятся значения до блока графа (Waveform Graph).

Для создания цикла необходимо преобразовывать t_1 в t_1 и провести провод в начало цикла. Таким образом, программа будет работать в цикле, который может остановить пользователь (см.рис.3).

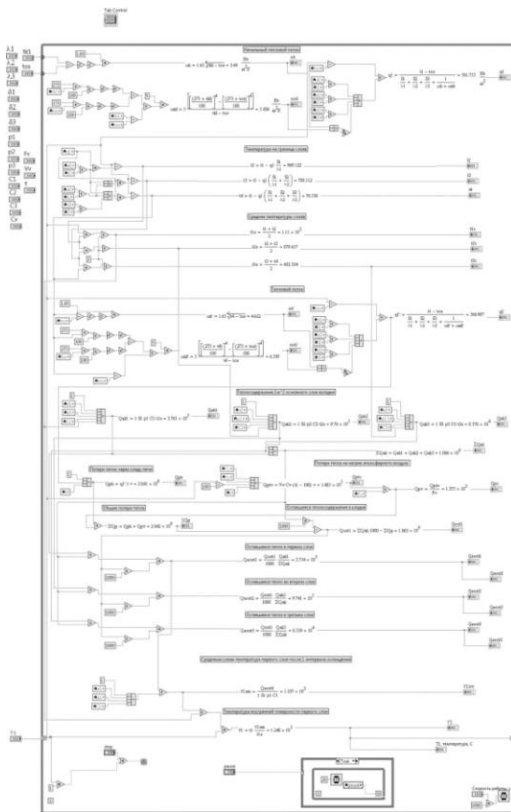


Рисунок 2 – Блок-диаграмма процесса футеровки печи в среде LabVIEW

Выводы

Рассмотрена актуальность проблемы потери тепла в процессе футеровки печи. Выявлены причины потери тепла по таким направлениям: через огнеупорную кладку, на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство через неплотности конструктивных элементов и огнеупорной кладки,

охлаждение глиссажных труб в сварочной и методической зонах печи.

Разработана методика, позволяющая с точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи. Данная методика реализована в математической модели, с циклически меняющимися значениями. Методика позволяет с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи после простоев произвольной продолжительности. Эта информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу печи в рабочее тепловое состояние.

Использована среда LabVIEW для визуальной и динамичной диагностики и наблюдения таких параметров, как температура печи, оставшееся тепло всех слоев, и потери тепла по алгоритму. Разработан цикл, в котором вычисляется все уравнения по порядку. Цикл работает бесконечно, пользователь может приостановить и остановить процесс. Визуально отображаются значения оставшегося тепла в трех слоях в виде гистограмм.

Также, в среде LabVIEW можно подключить датчики, которые указывают определенный уровень теплоты и температуры в печи. LabVIEW позволяет работать со всем оборудованием в единой среде. Подключение устройств обеспечивается с помощью драйверов LabVIEW, которые образуют промежуточный слой между оборудованием и средой разработки. В среде можно работать с различными типами интерфейсов, датчиков и приборов: устройствами сбора данных, модульными приборами, контроллерами управления движением и приводами, системами машинного зрения, беспроводными датчиками и ПЛИС.

Список источников

1. Барков С.П., Туяхов А.И. Исследование тепловой работы нагревательной печи с внутренней изоляцией // Международная научно-практическая конференция студентов "Металлургия XXI столетия глазами молодых", Донецк - 2015. - С. 88-89
2. Бирюков А.Б. Диагностика нагревательных печей периодического действия на основании построения и анализа моментальных тепловых балансов / А.Б. Бирюков, Е.В. Новикова, Т.Г. Олешкевич // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 2. Т. 36. – С. 29.
3. Biryukov A.B. Mathematical model for studying of metal air-cooling process in furnaces / A.B. Biryukov, A.I. Voloshin, P.A. Gnitiev // Steel in Translation. – 2015. – № 7. – P. 77-81
4. Барков С.П. Инженерная методика прогнозирования теплового состояния футеровки

методической печи, находящейся в условиях простоя / С.П. Барков, А.И. Туяхов // Вестник ДонНТУ. -2016. №5(5). -С. 43-47. (сер.: металлургические процессы и оборудование)
5. Быстрая разработка [электронный ресурс] // National Instruments Россия: [сайт]. URL:

http://www.labview.ru/labview/what_is_labview/rapid_development.php

6. Интеграция с оборудованием [электронный ресурс] // National Instruments Россия: [сайт]. URL: http://www.labview.ru/labview/what_is_labview/integration_with_hardware.php

Харитонов А.Ю., Бирюков А.Б., Пересекин А.В., Барков С.П. Математическое моделирование процесса футеровки печи в среде LabVIEW. Рассмотрена актуальная проблема потери тепла в процессе футеровки печи и разработана методика, позволяющая с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи. Для визуальной и динамической диагностики использовано математическое моделирование теплового состояния футеровки печи, которое было запрограммировано в среде LabVIEW.

Ключевые слова: футеровка, печь, теплота, теплосодержание, математическая модель, рабочая среда, блок-диаграмма, цикл, теплопроводность, функция, уравнение, температура.

*Статья поступила в редакцию 12.2.2017
Рекомендована к публикации д-ром тех. наук В.Н. Павлышом*