Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Сибирский государственный индустриальный университет»

Администрация Правительства Кузбасса

Администрация г. Новокузнецка

Институт проблем управления им. Трапезникова РАН

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

University of Science and Technology Liaoning, (Anshan, China)

АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ (в образовании, науке и производстве) AS’ 2024

ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

10-12 декабря 2024 г.

Новокузнецк
2024

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:
д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, к.т.н., доц. В.А. Кубарев,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS’2024: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 10-12 декабря 2024 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2024. – 481 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2024

8. Термодинамическое моделирование процесса восстановления кобальта углеродом в элементарных системах / М. А. Голодова, И. А. Рыбенко, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве). AS`2023 : труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 12–14 декабря 2023 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. – С. 128–133.

УДК 531.66:004.42

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ БОЙКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Тимофеев Е.Г.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, veefomit79@yandex.ru

Аннотация. *В статье приводится описание вычислительного алгоритма и расчетной программы, для проведения анализа геометрической формы бойков машин ударного действия. Программа является кроссплатформенной собственной разработкой, повышает скорость анализа и работает с реальными бойками машин, заданными 3D моделями.*

Ключевые слова: *продольный удар, боек, расчетная программа, 3D модель, импульс.*

Abstract. *The article describes a computational algorithm and a calculation program for analyzing the geometric shape of the strikers of impact machines. The program is a cross-platform proprietary development, increases the speed of analysis and works with real machine heads with specified 3D models.*

Keywords: *longitudinal impact, anvil-block, computer program, 3D model, impulse.*

Введение

Стержневые ударные системы имеют широкий спектр применения в машинах и механизмах ударного действия [1, 2] (рисунок 1). Их используют для генерирования полезной энергии посредством нанесения продольного удара бойком по волноводу. В 1964г. Е.В. Александровым было сделано открытие [3], которое заключалось в том, что на производительность таких систем влияет не только масса и предударная скорость бьющего тела, но и его геометрическая форма. Форма бойка определяет характер роста амплитуды в генерируемом им волновом ударном импульсе, посредством которого передается энергия от машины к объекту воздействия. Варьируя геометрией ударника, достигается один из важнейших энергетических эффектов, при достижении которого отраженная от объекта воздействия энергия имеет минимальное значение, что увеличивает срок службы машины и снижает энергетические затраты при ее эксплуатации [4]. Поэтому проведение анализа геометрической формы бойков при проектировании и модернизации машин ударного действия является актуальным.

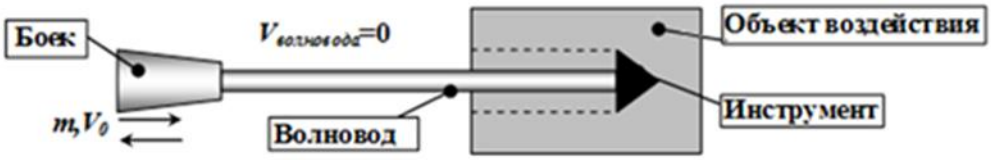


Рисунок 1 – Общая схема стержневой системы машин ударного действия

Анализу формы бойков посвящены множественные работы ученых, итогом которых стало получение аналитических решений для ударников восьми геометрических форм [5]. Последним было решение для катеноидального ударника, полученное в СибГИУ доц. И.А. Жуковым под руководством проф. Л.Т. Дворникова [6], на что автор по-

тратил более двух лет. Ясно, что такие сроки неприемлемы для предприятий, занимающихся проектированием и серийным производством машин ударного действия. Более того, все бойки, для которых получены решения, имеют простую геометрическую форму, а ударники, применяемые в современных машинах, снабжены достаточно сложной боковой поверхностью (рисунок 2), что обусловлено принципом работы бойка и технологией его изготовления.

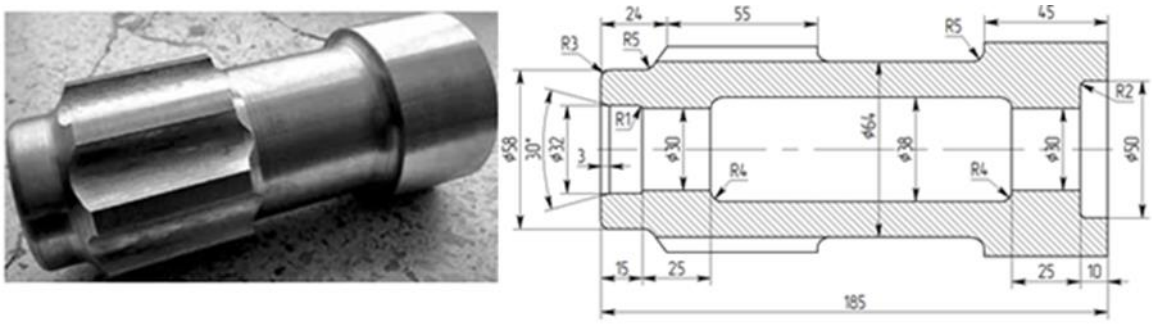


Рисунок 2 – Серийный боек погружного пневмоударника

Аналитическое решение определяет функцию вида *f(x)*, задающую рост амплитуды в первой волне ударного импульса, полученную путем математического анализа геометрической формы бойка, а так же основные характеристики импульса (рисунок 3). При совпадении характера роста амплитуды импульса с характером роста сил сопротивления при внедрении инструмента в объект воздействия энергия отраженная назад в машину является минимальной, а импульс, которым она доставлена, называется оптимальным.

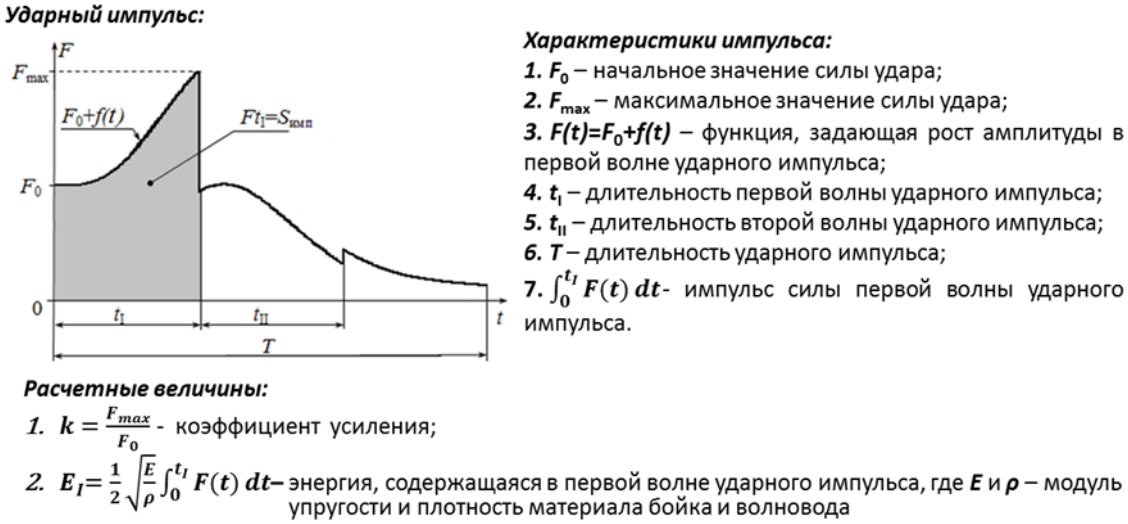


Рисунок 3 – Ударный импульс и его характеристики

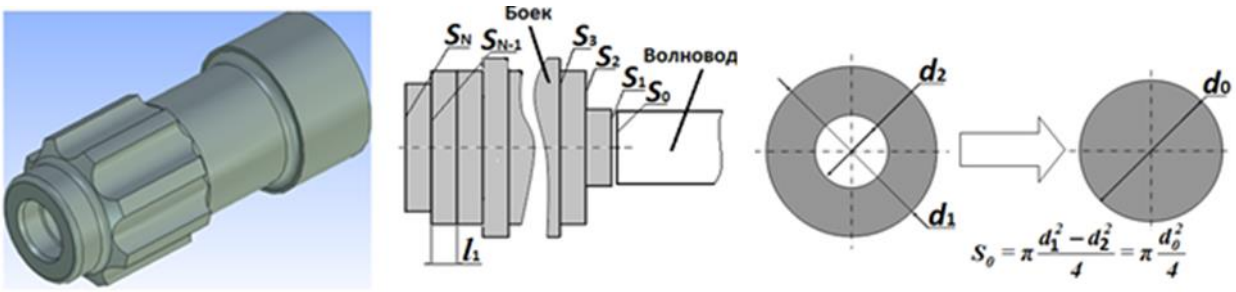
Постановка задачи

Получение математической модели, позволяющей в короткие сроки адекватно анализировать реальные конструкции бойков, имеющей выход с точки зрения кроссплатформенного программного обеспечения.

Численная модель стержневой системы с бойком сложной геометрической формы

Формирование численной модели стержневой системы с бойком сложной геометрической формы производится по 3D модели ударника в CAD системе 3D моделирования

(например, T-Flex, КомпАс и др.) [7]. Для этого объемная модель ударника рассекается секущими плоскостями, перпендикулярными его геометрической оси и расположенными на равном расстоянии l_1 друг от друга (рисунок 4а).



а) б) в)

Рисунок 4 – *а*) 3D модель; *б*) построение приведенной формы бойка; *в*) замена площади реального сечения кругом равной площади

Значение l_1 задается произвольно и зависит от сложности боковой поверхности бойка и определяет количество секущих плоскостей:

$$N = \frac{L}{l_1}, \tag{1}$$

где L – общая длина бойка. Используя встроенную функцию, определяются значения площадей полученных сечений, которые записываются в текстовый файл, где уже содержится значение площади волновода S_0, являющийся численной геометрической моделью стержневой системы. Итогом моделирования является построение приведенной формы бойка, которая выполняется из дискретных элементов, представляющих собой цилиндры одинаковой длины l_1 и имеющих общую ось симметрии (рисунок 4б). При этом поперечное сечение каждого диска представляет собой круг, равной площади соответствующему сечению бойка (рисунок 4в).

Вычислительный алгоритм численного метода расчета ударного импульса

Описание удара базируется на математических основах графодинамического метода соударения трехступенчатых цилиндрических стержней [8], развернутого на стержни, составленные из N ступеней. Согласно представлениям о продольном ударе, положенным в основу вычислений, при соударении с волноводом в каждой ступени приведенного бойка возникают прямоугольные волновые импульсы, которые распространяются без искажения в обе стороны вдоль геометрической оси ударника. На границах ступеней импульсы частично отражаются, частично проходят в соседнюю ступень, при этом амплитуды импульсов изменяются, а их значения определяют коэффициенты отражения и прохождения. Отраженный и прошедший импульсы складываются, формируется новый импульс, который движется без искажений до следующей границы. В итоге в волновод приходят прямоугольные импульсы, совокупность которых представляет собой общий ударный импульс, сгенерированный при ударе (рисунок 3). Итогом работы является численный метод расчета ударного импульса, который по численной геометрической модели ударного узла формирует численную модель ударного импульса [9].

Вычислительный алгоритм метода состоит из семи последовательных шагов:

1) задание исходных параметров: S_i – численная модель стержневой системы, E и ρ – модуль упругости и плотность материала бойка и волновода (в данной задаче материал стержней системы один); q – число временных интервалов, на которые разбит промежуток времени за который считается импульс (здесь одна волна импульса содержит $2N$ вре-

менных интервалов); l_1 – длина одной цилиндрической ступени; V_0 – предударная скорость бойка (для машин ударного действия ее значение не превышает 10м/с);

2) расчет длительности временного интервала, за который читается импульс:

$$T = ql_1\sqrt{\frac{\rho}{E}}\,; \tag{2}$$

3) расчет элементов массивов r_i и p_i, содержащих численные значения коэффициентов отражения и прохождения волн, генерируемых в системе при ударе:

– для прямых волн:

$$r_i = \frac{S_{i\text{-}1} - S_i}{S_i + S_{i\text{-}1}} \text{ и } p_i = \frac{2S_{i\text{-}1}}{S_i + S_{i\text{-}1}},\ 1 \le i \le N; \tag{3}$$

– для обратных волн:

$$r_i = \frac{S_{i\text{-}N+1} - S_{i\text{-}N}}{S_{i\text{-}N+1} + S_{i\text{-}N}} \text{ и } p_i = \frac{2S_{i\text{-}N+1}}{S_{i\text{-}N+1} + S_{i\text{-}N}},\ (N+1) \le i \le (2N-1), \tag{4}$$

где S_i – соответствующие элементы массива, являющегося численной моделью стержневой ударной системы;

4) расчет элементов массива P_z^j (размерностью $2N\times q$), содержащую численные значения амплитуд прямоугольных волновых импульсов, движущихся через границы соприкосновения цилиндрических элементов, составляющих приведенную форму бойка:

$$\begin{aligned}
&P_{2i\text{-}1}^1 = \frac{V_0\sqrt{E\rho}}{2}S_i, 1 \le i \le N;\\
&P_{2i}^1 = -\frac{V_0\sqrt{E\rho}}{2}S_i, 1 \le i \le N;\\
&P_{2N\text{-}1}^j = -P_{2N}^{j\text{-}1}, 2 \le j \le q;\\
&P_{2i\text{-}1}^j = P_{2i+1}^{j\text{-}1}p_{i+1} + P_{2i}^{j\text{-}1}r_{N+i}, 1 \le i \le N; 2 \le j \le q;\\
&P_2^j = P_1^{j\text{-}1}r_1, 2 \le j \le q;\\
&P_{2i}^j = P_{2i\text{-}1}^{j\text{-}1}r_i + P_{2i\text{-}2}^{j\text{-}1}p_{N+i\text{-}1}, 1 \le i \le N; 2 \le j \le q.
\end{aligned}\ ; \tag{5}$$

5) По численным значениям, содержащимся в первой строке массива P_z^j, формируется массива F_j согласно выражению:

$$F_j = P_1^j p_1, 1 \le j \le q\,. \tag{6}$$

Данный массив вместе со значением t_1 является численной моделью ударного импульса, t_1 – время прохождения ударной волной одной цилиндрической ступени приведенного бойка:

$$t_1 = \frac{L}{N}\sqrt{\frac{\rho}{E}}\,; \tag{7}$$

6) по элементам массива (6) строится гистограммы (рисунок 5) (ступенчатая линия), которая аппроксимируется гладкой кривой (пунктирная линия), описываемой функцией вида:

$$F(t) = f(t) + F_0, \tag{8}$$

где $f(t)$ – функция, задающая рост амплитуды импульса;
$F_0=F_1$ – начальное значение силы удара;

7) Проведение анализа ударного импульса с определением его характеристик (рисунок 5).

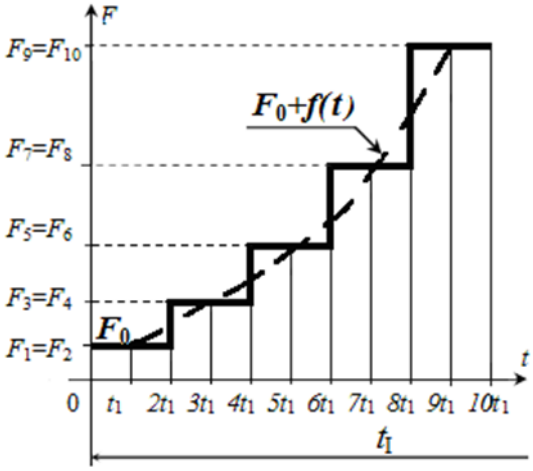


Рисунок 5 – Формирование математической модели ударного импульса

Расчетная программа «Удар бойком сложной геометрической формы»

На базе численного метода расчета ударного импульса была написана инженерно-расчетная программа «Удар бойком сложной геометрической формы» (свидетельство о регистрации ПЭВМ №2019619495), которая позволяет автоматизировать расчет и анализ ударного импульса. Программа написана на языке Objrct Pascal в среде программирования Lozarus. Компилятор данной среды является кроссплатформенным, что позволяет получать программный продукты под различные операционные системы: Win32, Win64, Linux, MacOS. Пользовательский интерфейс программы состоит из двух вкладок: «Проект бойка» (рисунок 6) и «Расчет ударного импульса» (рисунок 7). Возможности программы: по численной модели, представленной тестовым файлом, моделирует приведенную форму бойка, выполняет ее эскиз приведенного, рассчитывает и анализирует генерируемый в стержневой системе ударный импульс.

Важнейшей особенностью данной программы является то, что она позволяет существенно сократить время расчета ударного импульса. Его величина напрямую зависит от времени создания 3D модели бойка и времени формирования численной геометрической модели. Сам же расчет ударного импульса длится несколько секунд.

Подтверждение корректности результатов

Для подтверждения корректности результатов, полученных в расчетной программе, было проведено сравнение численных вычислений с экспериментальными данными, полученными для погружной пневмоударной машины, содержащей стержневую систему с бойком сложной геометрической формы (рисунок 2). Экспериментальные осциллограммы импульсов накладывались на численные решения (рисунок 8), затем проводилась статистическая обработка результатов, погрешность составила 7,3±2,1%.

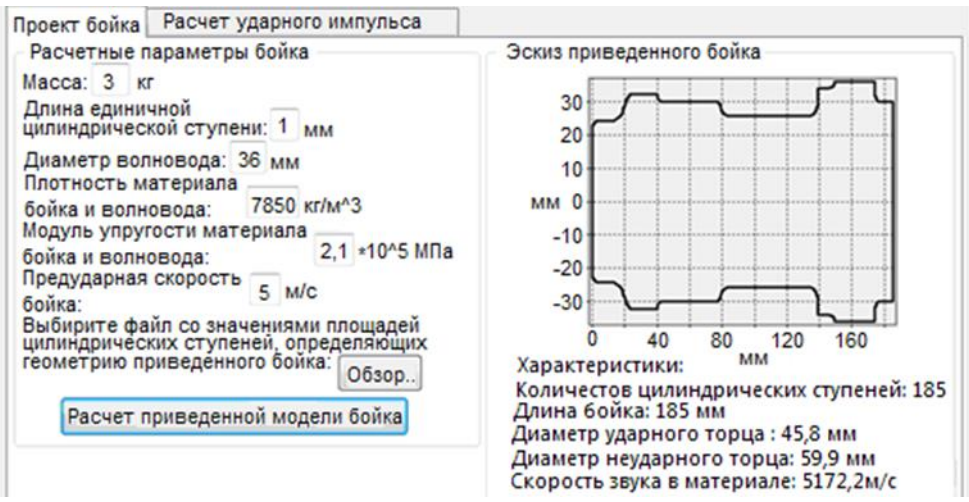


Рисунок 6 – Программная вкладка «Проект бойка»

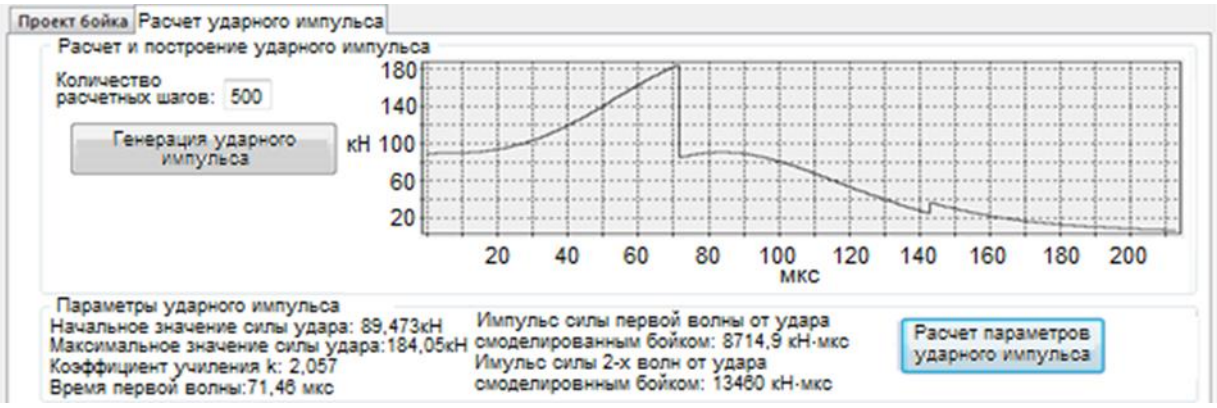


Рисунок 7 – Программная вкладка «Расчет ударного импульса»

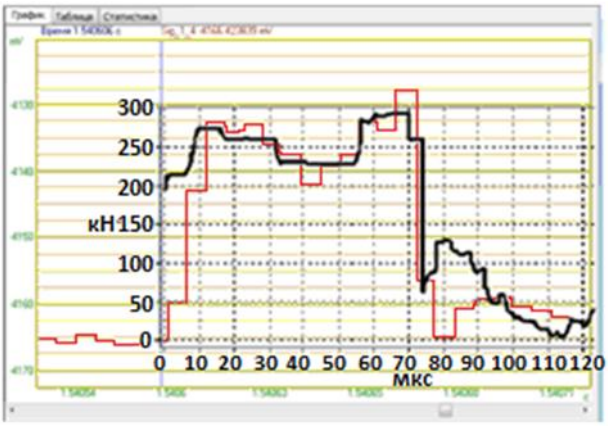


Рисунок 8 – Наложение экспериментального импульса на численное решение

Заключение

Итогом работы стал автоматизированный метод анализа стержневых систем машин ударного действия с бойками сложных геометрических форм. Причем сложность формы не ограничивается только боковой поверхностью, но и внутренними полостями, отверстиями, галтелями, фасками и пр. Данный метод позволил существенно сократить время определения ударного импульса, что позволило провести его внедрение в процесс разработки и модернизации бойков для машин ударного действия на предприятиях и научных центрах страны, что подтверждается соответствующими актами и публикациями.

Библиографический список

1. Алимов О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников – М.: Машиностроение, 1976. – 295с.
2. Соколинский В.Б. Машины ударного разрушения. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с
3. Открытие 13 СССР. / Е.В. Александров. – Приоритет от 30.10.1957, опубл. 19.03.1964, Бюл. №7 – С.7-12.
4. Болобов В.И., Баталов А.П., Ле Тхань Б., Юсупов Г.А. Закономерности разрушения горной породы единичным ударом // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 6 (133). С. 43-48.
5. Жуков И. А. Бойки ударных механизмов, имеющие аналитическое решение / И. А. Жуков, Л.Т. Дворников // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10(139). – С. 17-20.
6. Дворников Л.Т., Жуков И.А. Продольный удар полукатеноидальным бойком / Л.Т. Дворников, И.А. Жуков – Новокузнецк: СибГИУ. – 2006. – 80 с.
7. Жуков И.А. Автоматизация определения приведенной формы бойков ударных механизмов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2016. – № 4. – С. 50-54.
8. Иванов К.И. Техника бурения при разработке полезных ископаемых. Изд. 2-е, перераб. / К.И. Иванов, М.С. Варич, В.И. Дусев и др. – М.: Недра, 1974. – 408с.
9. Zhukov I.A. Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry / I.A. Zhukov, A.A. Repin, E.G. Timofeev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 134 (2018), 012071, doi: 10.1088/1755-1315/134/1/012071.

УДК 004.724.4

О ВЛИЯНИИ ТИПОВ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ НА ОЦЕНКУ СОСТОЯНИЯ ВЫБИРАЕМОГО УЗЛА

Грачев А.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, grachev_av@list.ru

***Аннотация**. В статье приводиться сведенья о проведении исследований в области управления распределёнными сетевыми структурами. Приводятся краткие результаты исследований влияния разных типов передаваемых данных на прогнозирование состояния вероятного узла-посредника. Описываемые результаты получены путем прогнозирования состояния узла с помощью аппарат искусственных нейронных сетей (АИНС) в рамках разных наборов данных, отражающий тип передаваемой информации.*

***Ключевые слова**: нейронные сети, прогнозирование, узел-посредник.*

***Abstract**. The article provides information on the research in the field of distributed network structure management. Brief results of studies of the influence of different types of transmitted data on the forecasting of the state of a probable intermediary node are given. The described results are obtained by forecasting the state of the node using artificial neural networks (ANN) within different data sets reflecting the type of information transmitted.*

***Keywords**: neural networks, forecasting, intermediary node.*

Введение

Современные сети передачи данных не имеют определённого числа узлов. Задача управления такими узлами должна опираться на сегменты отдельных узлов, связанных между собой сильнее, чем между другими узлами. Задача выбора управляющего узла более сложна для работы сетей с топологией, находящейся в состоянии неопределённости.

Моделями динамической сети [1] описывает систему, которая изменяется с течением времени. Модель учитывает постоянные изменения и обновления системы. Прогно-