



NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№17/2018

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
 - Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
 - Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
 - Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
 - Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
 - Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
 - Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
 - Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
 - Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
 - Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
 - Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
 - Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
 - Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
 - Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
 - Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
 - Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
 - Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
 - Chan Jiang (Peking University, China)
- and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>

CONTENT

MATHEMATICAL SCIENCES

<i>Khramov I.</i> THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL, DESCRIBING THE DYNAMICS OF AN OSCILLATORY NEURAL NETWORK CONSISTING OF N NEURONS	3
---	---

PHYSICAL SCIENCES

<i>Ostrovsky Yu.</i> DEFORMATION MODEL FOR VISCOUS- ELASTIC-PLASTIC MATERIAL	6
<i>Fimin N.</i> THE DERIVATION OF INVARIANT VORTEX HYDRODYNAMIC FLOWS BASED ON THE LIOUVILLE EQUATION	8

TECHNICAL SCIENCES

<i>Babin A., Abdrakhmanova K., Gafarova V.</i> USING ABAQUS PRODUCT FOR MODELING OF CRACK FILLING BY COMPOSITE MATERIAL. 13		<i>Sinitsyn Yu., Vitkovsky N.</i> IMPLEMENTATION OF TRAFFIC MANAGEMENT MECHANISMS	42
<i>Gilmiyarova E., Shayhutdinov I.</i> MODERNIZED DEVICE FOR APPLICATION OF PENISOI.....	18	<i>Sinitsyn Yu., Kunavin D.</i> MONITORING SYSTEM OF THE NETWORK INFRASTRUCTURE OF THE MEDICAL INSTITUTION.....	45
<i>Vinogradov A., Kovalenko M.</i> DEVELOPMENT OF THE REPAIR KIT WITH THE APPLICATION OF NEW TRIBOSOPRYAZHENIE AS A KIND OF FUNCTIONAL TUNING	21	<i>Smorodova O., Kitaev S., Erilin I.</i> PROBLEMS OF NATURAL GAS USE FOR SOLID OXIDE FUEL CELLS	51
<i>Pekhutov A., Aldoshin D.</i> MATHEMATICAL MODEL FOR THE CHOICE OPTIMUM VEHICLES FOR AGRICULTURAL TRANSPORTATIONS.....	22	<i>Smorodova O., Kitaev S., Useev N.</i> THE HEAT ADJUSTMENT METHODS COMPARATIVE ANALYSIS	54
<i>Platonov A., Maresev V., Novikov K., Egorova T.</i> COMPARISON OF PROGRESSIVE METHODS OF OBTAINING PLASMA AND LASER CUTTING TRAINS AND EXAMPLES OF THEIR PRACTICAL USE	24	<i>Ekvist B., Korotkov R.</i> APPLICATION OF GROUND-PENETRATING RADAR FOR SPECIFICATIONS OF BLASTING ROCKS	58

MATHEMATICAL SCIENCES

THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL, DESCRIBING THE DYNAMICS OF AN OSCILLATORY NEURAL NETWORK CONSISTING OF N NEURONS

Khramov I.

Postgraduate student of the Department of Computer Security and Mathematical Methods of Management, Tver State University, Tver

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ДИНАМИКУ ОСЦИЛЛЯТОРНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ N НЕЙРОНОВ

Храмов И.С.

Аспирант кафедры компьютерной безопасности и математических методов управления Тверского Государственного Университета, Тверь

Abstract

In this article we consider the optimal control problem describing the dynamics of an oscillatory neural network given by a system of nonlinear ordinary differential equations. The analysis of the parameters of the problem and the subsequent minimization of the functional are carried out. For the subsequent finding of the numerical solution, the gradient projection method is applied.

Аннотация

В данной статье рассматривается задача оптимального управления, описывающая динамику осцилляторной нейронной сети, заданной системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Проводится анализ параметров задачи и последующая минимизация функционала. Для последующего нахождения численного решения применяется метод проекции градиента.

Keywords: artificial neural networks, oscillator, optimal control problem

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, осциллятор, задача оптимального управления

Осциллятор - это множество совместно функционирующих элементов (нейронов или нейронных ансамблей), способных работать в колебательном режиме. С точки зрения математического моделирования удобно представлять осцилляторные нейронные сети (ОНС) в виде отдельных, взаимодействующих между собой осцилляторов.

Отличительной особенностью некоторых осцилляторов является наличие в их структуре возбуждающих и тормозных нейронов (нейронных популяций), различающихся по характеру воздействия: возбуждающие нейроны увеличивают, а тормозные уменьшают активность других элементов сети. Такие осцилляторы мы будем называть нейронными осцилляторами.

Осциллятор описывается системой дифференциальных (или разностных) уравнений, иногда со случайным шумом. Таких уравнений может быть много (несколько десятков или сотен) в случае детального учета специфики биологических нейронов. Если же изучение проводится на уровне нейронных популяций, то рассматриваются обычно два-пять уравнений, описывающих усредненную по ансамблю динамику каждой популяции. В случае фазового осциллятора рассматривается лишь одна переменная - фаза колебаний.

В зависимости от архитектуры связей между осцилляторами мы будем рассматривать ОНС двух типов.

- Полносвязные сети осцилляторов. В этом случае каждый из осцилляторов связан со всеми другими осцилляторами.

- Сети с локальными связями. В этом случае каждый осциллятор связан только с осцилляторами из своей окрестности фиксированного радиуса. Иногда учитываются временные задержки в связях.

В большинстве обозреваемых работ предполагается, что величина взаимодействия (сила связи) осцилляторов мала. Тогда можно использовать асимптотические методы: тот или иной вариант теории усреднения или же переход к непрерывной аппроксимации. Другая возможность - рассмотрение нейронных сетей, состоящих из очень большого числа осцилляторов. Здесь используются асимптотические методы, а также метод перенормировки (укрупнения осцилляторов). Если не удастся получить аналитические результаты, то исследование проводится с помощью имитационного моделирования.

Описание поставленной задачи

В статье рассматривается задача оптимального управления, описывающая динамику осцилляторной нейронной сети, состоящей из N нейронов. Поведение нейронной сети описывается системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= y_i(t) \\ \dot{y}_i(t) &= -w_i x_i^2(t) \\ &+ \frac{EG(t)}{N} \sum_{j=1}^N (y_j(t) - y_i(t)), t \\ &\in [0, T], i = 1, \bar{N} \\ \dot{G} &= u(t) \end{aligned}$$

$x_i(0), y_i(0), G(0)$ — заданы

Управление удовлетворяет ограничениям:

$ u(t) \leq 100$	y_i – скорость изменения характеристики состояния i-го нейрона в момент времени t ,
Целью оптимизации является минимизация функционала:	$G(t)$ – функция, характеризующая влияние ансамблей нейронов на i-ый нейрон,
1) $I(*) = \sum_{i=1}^N (x_i(T) - A_i)^2$	w_i – частота колебаний свободного i-го нейрона,
2) $(x_i(t) - A_i)^2$	E – коэффициент, характеризующий энергию связи нейронов.
Описание параметров задачи	Краевая задача принципа максимума
N – количество нейронов,	Применим к поставленной задаче теорему о необходимых условиях оптимальности.
x_j – характеристика состояния i-го нейрона в момент времени t ,	

1. Запишем функцию Понтрягина:

$$H(t, x, y, u, G, p(t), h(t), \lambda_0) = \sum_{i=1}^N p_i(t) y_i + \sum_{i=1}^N b_i(t) (-w_i x_i^2(t) + \frac{EG(t)}{N} \sum_{j=1}^N (y_j(t) - y_i(t))) + h(t)u, t \in [0, T].$$

2. Для определения вида оптимального управления применим принцип максимума:

$$\sum_{i=1}^N p_i(t) y_i + \sum_{i=1}^N b_i(t) (-w_i x_i^2(t) + \frac{EG(t)}{N} \sum_{j=1}^N (y_j(t) - y_i(t))) + h(t)u \rightarrow \max_{-1 \leq u \leq 1}, t \in [0, T]$$

который сводится к отысканию минимума функции:

$$h(t)u \rightarrow \max_{-1 \leq u \leq 1}, t \in [0, T]$$

Согласно принципу максимума, оптимальное управление удовлетворяет условию:

$$\bar{u}(t) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } h(t) = 0 \\ -1, & \text{если } h(t) < 0, t \in [0, T], \alpha \in [-1, 1] \\ 1, & \text{если } h(t) > 0 \end{cases}$$

3. Выпишем дифференциальные уравнения для сопряженных функций:

$$\begin{aligned} \dot{p}_i(t) &= -\frac{dH}{dx} = 2b_i(t)w_i x_i \\ \dot{b}_i(t) &= -\frac{dH}{dy} = -p_i(t) + b_i \frac{EG}{N} - \frac{EG}{N} \sum_{j=1}^N b_j(t), \\ \dot{h}_i(t) &= -\frac{dH}{dG} = -b_i(t) \frac{E}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - y_i), t \in [0, T], i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

4. На свободном правом конце задачи запишем условие трансверсальности:

$$p_i(T) = -\lambda_0, b_i(T) = 0, h(T) = 0, \text{ где } i = \overline{1, N}$$

5. Выпишем краевую задачу принципа максимума:

$$\begin{aligned} \dot{p}_i(t) &= -\frac{dH}{dx} = 2b_i(t)w_i x_i, \\ \dot{b}_i(t) &= -\frac{dH}{dy} = -p_i(t) + b_i \frac{EG}{N} - \frac{EG}{N} \sum_{j=1}^N b_j(t), \\ \dot{h}_i(t) &= -\frac{dH}{dG} = -b_i(t) \frac{E}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - y_i) \\ \dot{x}(t) &= y_i(t), \\ \dot{y}_i(t) &= -w_i x_i^2(t) + \frac{EG(t)}{N} \sum_{j=1}^N (y_j(t) - y_i(t)), \\ \dot{G} &= u(t), \\ x_i(0) &= x_i^0, \\ y_i(0) &= y_i^0, \\ G(0) &= G^0, \\ p_i(T) &= -\lambda_0, b_i(T) = 0, h(T) = 0, \end{aligned}$$

где оптимальное управление выбирается в виде

$$\bar{u}(t) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } h(t) = 0 \\ -1, & \text{если } h(t) < 0 \\ 1, & \text{если } h(t) > 0. \end{cases}$$

Дискретная аппроксимация

Для нахождения оптимального решения перейдем от непрерывной задачи к дискретной. Для этого разобьем отрезок $[0, T]$ на q частей точками:

Аппроксимируем производную по схеме Эйлера:

$0 = t_0 < t_1 < \dots < t_j < t_{j+1} < t_q = T$. Будем считать разбиение равномерным, тогда $\Delta t = t_{k+1} - t_k = \frac{T}{q}$.

$$\dot{x} \cong \frac{x^{k+1} - x^k}{\Delta t}, k = \overline{0, q-1}$$

Введем обозначения: $x_i(t_k) = x_i^k, y(t_k) = y_i^k, G(t_k) = G^k$.

Получаем рекуррентные формулы:

$$\begin{aligned} G^{k+1} &= u^k \Delta t + G^k, \\ x_i^{k+1} &= y_i^k \Delta t + x_i^k \\ y_i^{k+1} &= y_i^k + \Delta t(-w_i(x_i^k)^2 + \frac{EG^k}{N} \sum_{j=1}^N (y_j^k(t) - y_i^k(t))), \text{ где } i = \overline{1, N}, k = \overline{0, q-1} \end{aligned}$$

Ограничения на управление перепишутся в виде:

$$|u^k| \leq 100, \text{ где } k = \overline{0, q-1}$$

Целью оптимизации является минимизация функции:

$$I = \sum_{i=1}^N x_i^q$$

Для нахождения численного оптимального решения используем метод проекции градиента. Для его реализации необходимо воспользоваться теоремой о необходимых условиях оптимальности.

Определим функцию Лагранжа:

$$\begin{aligned} L &= \lambda_0 \left(\sum_{i=1}^N x_i^q \right) \\ &+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \left(p_i^{k+1} (x_i^{k+1} - x_i^k - \Delta t y_i^k) \right) \\ &+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \left(b_i^{k+1} \left(y_i^{k+1} - y_i^k - \Delta t w_i^k (x_i^k)^2 - \Delta t \frac{EG^k}{N} \sum_{j=1}^N (y_j^k - y_i^k) \right) \right) \\ &+ \sum_{k=0}^{q-1} h^{k+1} (G^{k+1} - G^k - \Delta t u^k) \end{aligned}$$

Запишем условия стационарности:

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dx_m^q} &= \lambda_0 + p_m^q = 0, \\ \frac{dL}{dx_m^l} &= p_m^l - p_m^{l+1} + 2b_m^{l+1} \Delta t w_m x_m^l = 0 \\ \frac{dL}{du^l} &= -h^{l+1} \Delta t, \\ \frac{dL}{dG^q} &= h^q = 0, \\ \frac{dL}{dG^l} &= \sum_{i=1}^N \left(-b_i^{l+1} \left(\Delta t \frac{E}{N} \sum_{j=1}^N (y_j^l - y_i^l) \right) \right) + (h^l - h^{l+1}) = 0 \\ \frac{dL}{dy_m^l} &= b_m^l - b_m^{l+1} - \Delta t p_i^{l+1} - \Delta t \frac{EG^k}{N} \sum_{i=1}^N b_i^{l+1} + \Delta t EG^k b_m^{l+1} = 0, \\ \frac{dL}{dy_m^q} &= b_m^q = 0 \end{aligned}$$

где $m = \overline{1, N}, l = \overline{0, q-1}$.

В результате проведенных экспериментов было установлено следующие факты.

Наилучшее стартовое управление для поставленной задачи=0,9. Точность вычислений должна быть не более 0,000000000000001, чтобы обеспечить достижение поставленной цели с приемлемой погрешностью.

Оптимальное значение шага градиентного спуска 600, при других значениях наблюдался худший результат минимального значения целевой функции.

Наилучшее время T=6, частота колебаний свободного нейрона $w_i=0,4$.

Наилучший коэффициент, характеризующий энергию связи нейронов E=0,01.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреева Е. А., Цирулева В. М. Вариационное исчисление и методы оптимизации. Тверь: 2016.
2. Андреева Е. А. Оптимальное управление динамическими системами. Тверь: 2016.
3. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983.

PHYSICAL SCIENCES

DEFORMATION MODEL FOR VISCOUS-ELASTIC-PLASTIC MATERIAL

Ostrovsky Yu.

Candidate of physical and mathematical sciences, Assistant Professor of higher mathematics at the Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)

МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЯЗКОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Островский Ю.К.

Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Российского государственного университета имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

Abstract

Non-linear dependence of the stress from a single-dimensional deformation of the sample due to the influence of plasticity, elasticity and viscosity his material.

Аннотация

Нелинейная зависимость напряжения от деформации одномерного образца обусловлена влиянием пластичности, упругости и вязкости его материала.

Keywords: elasticity, viscosity, plasticity, relaxation, deformation, stress.

Ключевые слова: упругость, вязкость, пластичность, релаксация, деформация, напряжение.

Проблема теоретического исследования динамики материальных сред существует уже более ста лет и в некоторых случаях её решение способствовало появлению новых материалов и моделей прогноза их свойств в условиях эксплуатации таких материалов в человеческой практике.

В работе [1] представлено простейшее линейное уравнение вязкоупругости, связывающее растягивающее напряжение σ с относительной деформацией ε :

$$\sigma'(t) + r\sigma(t) = nb\varepsilon(t) + b\varepsilon'(t), \quad (1)$$

$$\text{где } r = \frac{b+g}{\mu}, n = \frac{g}{\mu}, b \text{ и } g - \text{«упругое»}$$

и «вязкоупругое» напряжения, μ - коэффициент вязкости.

Уравнение (1) используем в дальнейшем для определения временной зависимости напряжения по восстановленной по экспериментальным данным кривой релаксации для относительной деформации.

Известно [2], что нелинейную экспериментальную диаграмму рассеяния $\{\sigma(t_i), \varepsilon(t_i)\}$, регистрируемую на разрывной машине, можно адекватно аппроксимировать полиномом степени большей двух:

$$\sigma(\varepsilon) = a_1\varepsilon + a_2\varepsilon^2 + a_3\varepsilon^3 + a_4\varepsilon^4, \quad (2)$$

где $a_j, j = \overline{1,4}$, - регрессионные коэффициенты, физический смысл которых (кроме a_1) воспроизвести затруднительно.

Подставляя разложение (2) в уравнение (1), получим в первом нелинейном приближении [3] уравнение Рикатти:

$$\varepsilon'(t) = \delta_0 + \delta_1\varepsilon(t) + \delta_2\varepsilon^2(t), \quad (3)$$

где коэффициенты $\delta_0, \delta_1, \delta_2$ выражаются через коэффициенты зависимостей (1) и (2), а одним из решений (3) при условии $\varepsilon(0) = \varepsilon_0$ является функция

$$\varepsilon(t) = c - \frac{\exp(-kt)}{\frac{1}{c - \varepsilon_0} - \frac{\delta_2}{k}(1 - \exp(-kt))}. \quad (4)$$

$$\text{В формуле (4) } c = \frac{-\delta_1 - \sqrt{\delta_1^2 - 4\delta_0\delta_2}}{2\delta_2} -$$

остаточная деформация, обусловленная ползучестью материала, $k = \sqrt{\delta_1^2 - 4\delta_0\delta_2}$ - отношение гетерогенного модуля упругости материала к усреднённому коэффициенту вязкости.

Зависимость (4) при надлежащем выборе параметров адекватно описывает экспериментальные данные, полученные на релаксометрах [3] и содержит всего два регрессионных коэффициента, по которым производится оптимизация модели (4).

Положим в выражении (4) $\varepsilon_0 = 0$ и, подставив его в уравнение (1), найдём $\sigma(t)$ при $\sigma(0) = 0$.

Таким образом, функции $\sigma(t), \varepsilon(t)$ выражают параметрическую зависимость напряжения от деформации:

$$\begin{cases} \varepsilon(t) = c - \frac{\exp(kt)}{\frac{1}{c} - \frac{\delta_2}{k}(1 - \exp(kt))}, \\ \sigma(t) = \exp(-rt) \int_0^t \exp(r\tau)(nb\varepsilon(\tau) + b\varepsilon'(\tau))d\tau. \end{cases} \quad (5)$$

для модели Алфрея, восстановленную по экспериментальным данным, полученным на релаксметре [3]:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0(\alpha \exp(-\beta t) + (1 - \alpha) \exp(-\gamma t)). \quad (6)$$

$$\text{Полагая} \quad \varepsilon(t \gg 1) = \varepsilon_\infty, \varepsilon(0) = 0,$$

найдем из уравнения (1) $\sigma(t)$ и получим:

Другое представление получим, используя хорошо зарекомендовавшую себя зависимость $\varepsilon(t)$

$$\begin{cases} \varepsilon(t) = \varepsilon_\infty(1 - (\alpha \exp(-\beta t) + (1 - \alpha) \exp(-\gamma t))), \\ \sigma(t) = \varepsilon_\infty b \left[\frac{n}{r}(1 - \exp(-rt)) + \frac{\alpha(\beta - n)}{r - \beta}(\exp(-\beta t) - \exp(-rt)) + \right. \\ \left. + \frac{(1 - \alpha)(\gamma - n)}{r - \gamma}(\exp(-\gamma t) - \exp(-rt)) \right]. \end{cases} \quad (7)$$

Функция (7), заданная параметрически, интересна тем, что регрессионные коэффициенты α, β, γ , характеризующие относительную долю модуля упругости или вязкоэластичности (α), отношение этих модулей к коэффициентам вязкости

(β, γ) [3], надёжно восстанавливаются по диаграммам рассеяния $\{\varepsilon_i, t_i\}$, полученных на релаксметрах [3], а регрессионные коэффициенты b, n, r - по диаграммам рассеяния $\{\sigma_i, \varepsilon_i\}$, фиксируемых на разрывных машинах.

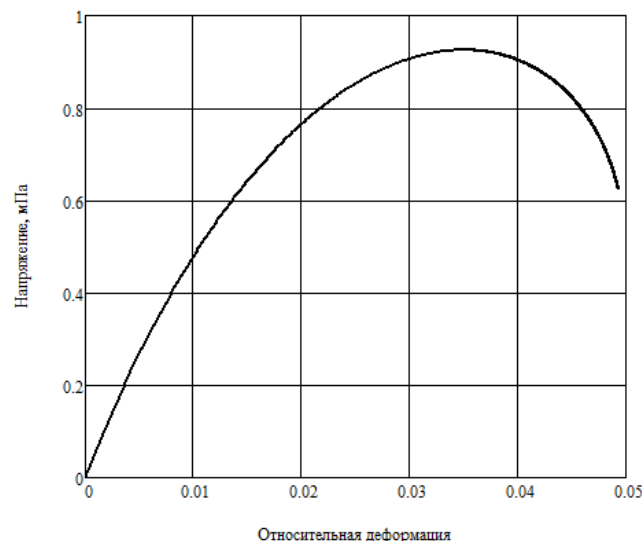


Рис. 1. Зависимость напряжения от деформации (5):
($c = 0.05, k = 0.5, \delta_2 = -5, b = 20, n = 0.15, r = 0.3$)

Кривые, представленные на Рис. 1, 2, рассчитывались по формулам (5) и (7) на временном интервале $[0; 10]$ с и имеют скорее демонстрационный характер. Кроме того, при сравнении этих кривых следует учесть, что на разрывных машинах фиксируется обычно одномерная деформация, для описа-

ния которой предназначено уравнение (1), на релаксметрах с кольцевым зажимом [3] – двухмерная. Нелинейные функции характерны наличием локального максимума, за которым следует необратимый процесс потери упругих свойств деформируемого образца, его частичное разрушение.

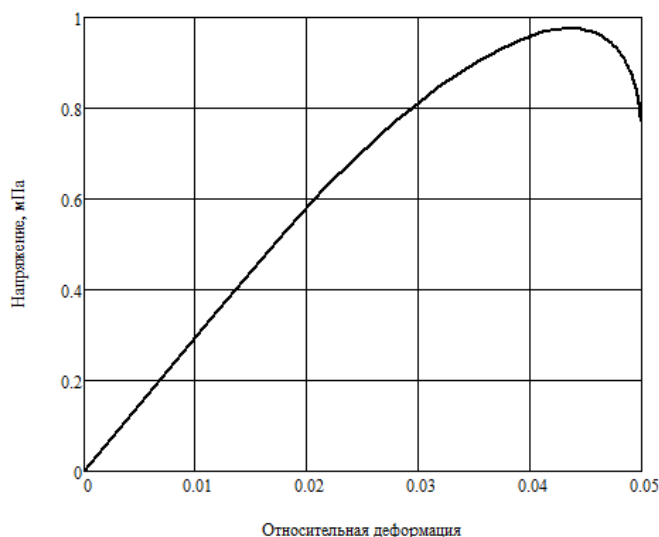


Рис. 2. Зависимость напряжения от деформации (7):
 $(\alpha = 0.67, \beta = 0.7, \gamma = 9, b = 30, n = 0.21, r = 0.42, \varepsilon_{\infty} = 0.05)$

В заключение заметим, что, решая уравнение (1) при $\varepsilon(t) = A \sin(\omega t)$, можно обнаружить в гармонике $\sigma(t)$ отличную от нуля фазу, характеризующую вязкоупругие свойства испытуемого образца, которая оценивается как

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\omega(r-n)}{\omega^2 + nr}\right).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит, 2003. 704 с.
2. Островский Н.Ю., Островский Ю.К. Функциональная зависимость напряжения и деформации кож// Кожевенно-обувная промышленность. – 2005, №5. - С. 42-43.
3. Островский Н.Ю., Островский Ю.К. Модель вязкоупругопластического материала// Дизайн и технологии. – 2011, №25(67).- С. 78-82.

THE DERIVATION OF INVARIANT VORTEX HYDRODYNAMIC FLOWS BASED ON THE LIOUVILLE EQUATION

Fimin N.

D.Ph., senior researcher, department of computational physics, Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow

ПОЛУЧЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ ВИХРЕВЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЛИУВИЛЛЯ

Фимин Н.Н.

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, отдел вычислительной физики ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва

Abstract

The problem of obtaining vortex solutions of the hydrodynamic equation that do not depend on the interparticle interaction potential and the properties of these solutions on the plane and in space is considered.

Аннотация

Рассматривается вопрос о получении вихревых решений уравнения гидродинамики, не зависящих от потенциала межчастичного взаимодействия, и свойствах данных решений на плоскости и в пространстве.

Keywords: Euler-Helmholtz equation, Liouville equation, hydrodynamic type solutions, Helmholtz-Hodge decomposition.

Ключевые слова: уравнение Эйлера–Гельмгольца, уравнение Лиувилля, решения гидродинамического типа, декомпозиция Гельмгольца–Ходжа.

1. Введение. Общие замечания

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач, находящихся на стыке классической кинетической теории и гидродинамики как ламинарных, так и турбулентных течений является описание механизма возникновения и эволюции вихревых когерентных структур на основе уравнений типа Эйлера–Гельмгольца для глобальной завихренности потока. При этом выявляется чрезвычайно простая и наглядная связь данного уравнения с уравнением Лиувилля, представляющим основу статистической механики (а также с классическим уравнением Власова, имеющим широкое применение в физике плазмы [1]). Поэтому представляется целесообразным рассмотреть следствия упомянутой связи и попытаться установить возможность прямого использования методик, характерных для гидродинамики, к уравнениям характеризующим эволюцию глобальной фазовой плотности (либо с самосогласованным полем). Это обусловлено, в первую очередь, сформировавшимся в настоящее время значительным интересом к практическим исследованиям в области применимости кинетических подходов к построению специальных подходов исследования турбулентных вихревых режимов течения. Следствием сформулированной в течение последних 30 лет концепции гамильтоновости структуры уравнений гидродинамики (см., например, [2]–[3]) явилась идея о возможности модификации методов теории динамических систем механического типа (таких, как многочастичные системы с описанием взаимодействия посредством введения понятия среднего поля) с целью получения результатов в вышеупомянутых областях. На основе гидродинамики гамильтоновых систем [4]–[6] представляется разумным строить инвариантный относительно возможных критических переходов соответствующих параметров движущейся среды (чисел Рейнольдса, Маха и т. д.) аппарат исследования и анализа эволюции течений и отдельных их компонентов (таких, как вихри); отдельным интересным аспектом выявляемой на основе вышеупомянутого введения гамильтонова формализма в гидродинамику возможности получения точных решений уравнений типа Лэмба [7] (в том числе Эйлера в вихревой формулировке), используя для этого близость его формы к таковой для стандартного уравнения Лиувилля/Власова. В настоящей работе данный аспект исследуется с точки зрения установления типа решений уравнения Эйлера (УЭГ), к которому приводятся вышеуказанные стандартные уравнения (как к классу эквивалентности), обладающие нетривиальным свойством независимости от внешних потенциальных сил.

2. Приведение уравнения Лиувилля к редуцированной гидродинамической системе и его инвариантные решения

Рассмотрим движение точечной классической частицы (массы $m=1$) во внешнем потенциальном поле $U(x)$ в n -мерном ($n \geq 2$, $n \in \mathbb{N}$) случае (гамильтониан системы

$H_0 = p^2 / (2m) + U(x)$). Ее динамика определяется стандартными уравнениями Гамильтона $\dot{x} = v$, $\dot{v} = -\nabla_n U(x)$. Если ввести функцию распределения $f(x, v, t)$ состояния частицы в $(2n+1)$ -мерном μ_t -пространстве (как плотности вероятности пребывания частицы в соответствующей точке фазового пространства в данный момент времени t), то ее эволюция формально описывается уравнением Лиувилля (эквивалентным в очевидном смысле вышеприведенным уравнениям динамики):

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} - \nabla_n U \frac{\partial f}{\partial v} = 0. \quad (1)$$

Умножая данное уравнение соответственно на 1, v , ..., и интегрируя по скоростям, получаем систему гидродинамических уравнений, которую можно назвать *системой уравнений Эйлера–Лиувилля* (УЭЛ). По физическому смыслу нашей постановки задачи очевидна возможность использования “односкоростного движения среды” (т. н. “анзац Бома” [8], известный в теории уравнения Власова)

$f(x, v, t) = \rho(x, t) \delta(v - V(x, t))$ (движение частицы описывается посредством введения нестационарной плотности вероятности ее пребывания в т. x n -мерного конфигурационного пространства, при условии предположения о том, что данная частица движется с вполне определенной локальной скоростью $V(x, t)$). Подстановка последнего выражения в полученную ранее гидродинамическую систему приводит к замкнутой паре уравнений (*редуцированной системе УЭЛ*), выражающих законы сохранения плотности массы и импульса движения (уравнения, содержащие моменты более высоких порядков, элиминируются):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla_n (\rho V) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla_n) V = -\nabla_n U. \quad (3)$$

Следует указать, что, вообще говоря, данную систему правильно следует именовать совокупностью, поскольку в ее 2-ом уравнении отсутствует явная зависимость от плотности ρ .

Применение к обеим частям уравнения (3) операции rot_n ($n = 2, 3, \dots$) приводит к *уравнению эволюции завихренности Эйлера–Гельмгольца* (УЭГ) [9]–[10]:

$$\text{helm} \Omega^{(n)} \equiv \frac{\partial \Omega^{(n)}}{\partial t} + (V \cdot \nabla_n) \Omega^{(n)} - (\Omega^{(n)} \cdot \nabla_n) V + \Omega^{(n)} \nabla_n V = 0, \quad (4)$$

где $\Omega^{(n)} \equiv \text{rot}_n V$ (правая часть уравнения (3) при этом аннулируется). Если решить полученное УЭГ относительно зависимой переменной $\Omega^{(n)}$, то в принципе возможно, обращая дифференциальный оператор rot_n , получить функцию

$V^e(x, t) \equiv \text{rot}_n^{-1} \Omega^{(n)}(x, t)$, которую можно формально соотнести с решением системы (2)–(3) (что, вообще говоря, не означает факта автоматического обращения в тождества уравнений данной системы при подстановке в них значения $V = V^e$ при любой правой части уравнения Эйлера $-\nabla_n U$) и, тем самым, определить класс “гидродинамических” решений исходного уравнения Лиувилля (1), не зависящих от типа потенциала $U(x): f^{(h)}(x, v, t) = \rho(x, t) \delta(v - V^e)$.

Для однозначности восстановления поля скоростей по известным значениям векторного поля

$$A_{j=1,2}(x) = \begin{cases} C_2 \int Q_n^{(j)}(x') \ln |x - x'| dx', n = 2, \\ C_n \int Q_n^{(j)}(x') |x - x'|^{-1} dx', n \geq 3, \end{cases}$$

$$Q_n^{(1)} \equiv \text{div}_n V, \quad Q_n^{(2)} \equiv -\text{rot}_n V, \quad C_2 = (2\pi)^{-1}, \quad C_{n \geq 3} = \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot ((4 - 2n)\pi^{n/2})^{-1},$$

можно легко установить явное выражение для восстанавливаемой скорости:

$$V = \begin{cases} \left(\frac{\partial A_1}{\partial x_1} - \frac{\partial A_2}{\partial x_2} \right) e_{x_1} + \left(\frac{\partial A_1}{\partial x_2} + \frac{\partial A_2}{\partial x_1} \right) e_{x_2}, n = 2, \\ -C_n \int (Q_n^{(1)}(x')(x - x') - Q_n^{(2)}(x') \wedge (x - x')) |x - x'|^{-3} dx', n \geq 3, \end{cases} \quad (5)$$

где e_{x_i} ($i = 1, 2$) — орты координатной системы на плоскости. Единственность получаемого таким образом векторного поля будет гарантирована при наличии следующих условий: 1) $\text{div}_n Q_n^{(2)} \equiv 0$; 2) функции $Q_n^{(j)}$ удовлетворяют неравенствам $|Q_n^{(j)}(x)| |x|^{2+\alpha} < K_1 < \infty$; 3) $|V(x)| |x|^{1+\alpha} < K_2 < \infty$ (при $|x| \rightarrow \infty$), где $K_{1,2}$ — положительные постоянные, $\alpha \in (0; 1)$.

Таким образом, предположение о возможности использования условия строгой детерминированности поля скоростей при представлении в факторизованном виде $\rho(x, t) \delta(v - V)$ функции распределения, являющейся подстановкой в качестве допустимой формы решения уравнения Лиувилля (1), приводит к заключению о существовании (и единственности при наличии некоторого набора дополнительных требований) упомянутого решения и независимости его от вида внешнего потенциала $U(x)$. При этом инвариантность относительно потенциала также можно приписать решению $V(x, t)$ уравнения Эйлера редуцированной системы УЭЛ (3), восстанавливаемому по решению $\Omega^{(n)}(x, t)$ соответствующего ему УЭГ (4).

завихренности во всех точках среде, в соответствии с известным правилом декомпозиции Гельмгольца–Ходжа [11]–[12], необходимо, чтобы были известны также соответствующие локальные значения величины дивергенции скорости $Q_n^{(1)}$ ($= 0$ для частного случая несжимаемой среды). По последней восстанавливаются скалярный потенциал течения $A_1(x, t)$, так что вышеупомянутая декомпозиция — для неограниченной области пространства — имеет вид $V = \nabla_n A_1 + \text{rot}_n A_2$, $A_2(x, t)$ — векторный потенциал. Поскольку (см. Приложение II)

3. Примеры точных решений редуцированной системы УЭЛ

Рассмотрим некоторые важные частные моменты теории преобразованного к гидродинамической вихревой системе уравнения Лиувилля, связанные с возможностью получения точных решений последнего специальных видов.

I. В качестве примера рассмотрим задачу Пуанкаре [6] о групповой динамике тонких вихревых трубок (N точечных вихрей на плоскости). Поскольку $V_{x_2}^{(j)} = \gamma_j^{-1} \partial \psi / \partial x_1^{(j)}$,

$$V_{x_1}^{(j)} = -\gamma_j^{-1} \partial \psi / \partial x_2^{(j)} \quad (j = 1, \dots, N), \quad \text{где}$$

$$\psi = \gamma_j \sum_k \gamma_k \ln |x_1 - x_k| + \sum_{i>1, k>1} \gamma_i \gamma_k \ln |x_i - x_k|$$

(γ_s — интенсивность s -ого вихря), то моноскоростная жидкость, содержащая точечные вихри, является гамильтоновой системой. II. Восстановление скоростей точечных вихрей по формулам п.3 приводит к вычислению в формуле (6) интегралов

$$m_a(\delta) = (2\pi)^{-1} \int \gamma \delta(x - x') \ln |x - x'| dx'.$$

II. В работе [7] введено разделение вихревых гидродинамических течений среды на вихревое движение “в сильном смысле” (когда $\omega \times v \neq 0$) и “в слабом смысле” (когда $\omega \times v \equiv 0$). К последним

принадлежат известные “решения Бельтрами”, характеризующиеся соотношением

$\text{rot } v(r) = \lambda(r)v(r)$ ($\lambda(r) \in C^1(R^3)$), то есть наличием коллинеарности векторов скорости и завихренности среды в данной точке (при этом должно выполняться условие $v \cdot \nabla \lambda = 0$). Условие $\lambda = 0$ характеризует так называемые *вихревые многообразия*, являющиеся корневыми множествами 3-мерной операции rot .

Стационарные 3-мерные решения УЭГ типа Бельтрами могут быть получены из рассмотренных выше 2-мерных функционально инвариантных, удовлетворяющих уравнению $\Delta \psi = F(\psi)$ (рассматриваемых как проекции искомого решения) введением дополнительной (гладкой) параметрической функции $\gamma(\psi)$ таким образом,

$$V_{1,n} = \Psi_n(\lambda r)(r \times \nabla \chi_n),$$

$$V_{2,n} = (n+1)\Psi_{n-1}(\lambda r)\nabla \Phi_n - n\Psi_{n+1}(\lambda r)\lambda^2 r^{2n+3}\nabla(\Phi_n / r^{2n+1}), \quad n = 1, 2, \dots$$

Следовательно, мы в явной форме получили общий класс решений Бельтрами стационарного уравнения Власова.

Вихревые движения среды “в сильном смысле” могут быть непосредственно описаны уравнением Власова для вихрей. Однако, следует отметить, что решения гидродинамического типа (с элиминацией явной зависимости от потенциала взаимодействия) уравнений со средним полем являются следствием специфической структуры гамильтонианов классических многочастичных систем. В частности, в качестве контрпримеров можно рассматривать уравнения Власова для локализованных вихрей (точечных, типа Рэнкина, Кирхгофа и пр.) на плоскости: поскольку в N -вихревой функции Гамильтона–Рауса H_N имеет место зависимость от пар канонически сопряженных переменных, формирующих кокасательное расслоение T^*M над конфигурационным пространством рассматриваемой системы M , фактически совпадающим с последним [20], и все слагаемые

что $\lambda(x) = -\gamma'(\psi)$, $\gamma\gamma' = -F(\psi)$: при этом $\Omega^{(3)} = \gamma'(\psi)\psi_{x_2}e_{x_1} - \gamma'(\psi)\psi_{x_1}e_{x_2} + F(\psi)e_{x_3}$.

Тем самым получена возможность конструировать точные решения УЭГ в пространстве, исходя из информации о его известном режиме в некотором сечении (обратный переход к решениям уравнения Власова описан выше). Общее представление вихревых слабых течений Бельтрами: $V = \lambda \text{rot } h + \text{rot rot } h$ (при дополнительном условии на векторный потенциал $\nabla^2 h + \lambda^2 h = 0$); таким образом, для V справедливо уравнение Гельмгольца $\Delta V + \lambda^2 V = 0$ (при наличии несжимаемости $\nabla V = 0$). Решения последнего уравнения имеют форму ([19]):

(два для δ -вихрей, четыре для вихрей Кирхгофа и т. д.) в развернутой записи скобок Пуассона $P_{H,f} \equiv \{H_N, f\}$ явно зависят от (логарифмического при возможном наличии дополнительных членов) потенциала взаимодействия, то соответствующие уравнения с самосогласованным полем $\dot{f}_t + P_{H,f} = 0$ неприводимы к гидродинамическому виду. Гамильтониан системы $N \leq \infty$ вихрей (с одинаковой циркуляцией $\gamma \in \mathbb{R}^1$) имеет вид $H_\delta = -\gamma^2 / (4\pi) \sum_{i \neq j} \ln |x_i - x_j|$ ($x_i = ((x_1)_i, (x_2)_i)$), динамические уравнения $\dot{\gamma}(x_1)_i = \partial H_\delta / \partial (x_2)_i$, $\dot{\gamma}(x_2)_i = -\partial H_\delta / \partial (x_1)_i$ ($(x_1)_i$, $(x_2)_i$ составляют канонически сопряженную пару переменных на фазовой плоскости $\mathbb{R}^2$), то соответствующее уравнение с самосогласованным полем (для 1-вихревой функции распределения) можно записать как

$$\frac{\partial f(x^{(1)})}{\partial t} + \langle v \rangle \nabla_1 f = 0, \quad \langle v \rangle \equiv \int f(x^{(2)}) (v_{x_1}(2 \rightarrow 1)e_{x_1} + v_{x_2}(2 \rightarrow 1)e_{x_2}) dx^{(2)}, \quad (6)$$

$$v(j \rightarrow i) = -\frac{\gamma}{2\pi} e_z \times \frac{x^{(i)} - x^{(j)}}{|x^{(i)} - x^{(j)}|^2},$$

где e_s — орты евклидовых осей ($s = x, y, z$). С учетом определения завихренности среды $\omega(x, t) = N\gamma f(x, t)$ последнее уравнение фактически представляет собой уравнение Эйлера–Гельмгольца. Однако здесь обнаруживается зависимость множителя $\langle v \rangle$ от (производной) межвихревого потенциала взаимодействия. $\partial \omega / \partial t + (V \cdot \nabla) \omega = 0$. Аналогичная ситуация имеет место типа Рэнкина, Кирхгофа, а также более общих квазилокальных (Тейлора, Озеена и пр.).

4. Заключение

Мы рассмотрели возможность получения точных решений уравнений Лиувилля, основанную на преобразовании последних к системе гидродинамических уравнений. Установлено, что при преобразовании уравнений Гамильтона для многочастичной системы к форме Эйлера–Гельмгольца имеет место явление инвариантности вихревых решений указанных уравнений относительно потенциала взаимодействия.

ПРИЛОЖЕНИЕ. Сведение уравнения Лиувилля для многочастичной системы к совокупности одночастичных

Для N -частичной системы с классическим гамильтонианом $H_N = H_N^0 + V$, $V = V_{ex}$ и/или V_N ,

$$H_N^0 = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^N p_i^2, \quad V_N = \sum_{j>i=1}^N V(r_{ij}), \quad r_{ij} \equiv |r_i - r_j|,$$

идентичных частиц массы $m=1$ парно взаимодействующих (центральным образом) и/или находящихся во внешнем поле рассмотрим уравнение Лиувилля для N -частичной функции распределения $D(r, p)$ ($r = (r_1, \dots, r_N)$,

$p = (p_1, \dots, p_N)$):

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \sum_k (\text{div}_{r_k} r_k D + \text{div}_{p_k} p_k D) = 0.$$

От многочастичной функции распределения системы $D((r, p))$ можно перейти к одночастичным функция распределения на 6 -мерном μ -пространстве каждой из $k = 1, \dots, N$ частиц:

$$f_k(r_k, p_k, t) = \int D \frac{d\Gamma_{6N}}{dr_k dp_k},$$

где: $d\Gamma_{6N}$ — элементарный объем пространства $6N$ -мерного пространства. Для последних существует возможность получить систему N гидродинамических полей, используя стандартный метод вывода моментных уравнений: проинтегрируем уравнение Лиувилля, предварительно умножив его на элементарный объем всех частиц, за исключением объема фазового пространства, приходящегося на k -ую частицу ($d\Gamma_N / dp_k dr_k$) и предположим, что N -частичная функция распределения достаточно быстро убывает в зависимости от пространственных координат и в пространстве импульсов:

$$D|_{r_k \rightarrow +\infty} \rightarrow 0, \quad D|_{p_k \rightarrow +\infty} \rightarrow 0.$$

Тогда имеем

$$\frac{\partial f_k}{\partial t} + \text{div}_{r_k} r_k f_k + \text{div}_{p_k} p_k \int p_k D d\Gamma / (dr_k dp_k) = 0.$$

Умножая данное уравнение соответственно на $1, r_i, \dots$, получаем искомую систему гидродинамических уравнений (факторизованную систему уравнений Эйлера–Лиувилля):

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r_k^\lambda} \rho_k v_k^\lambda = 0, \quad \lambda, \lambda' = 1, 2, 3, k = \overline{1, N},$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + v_k^\lambda \frac{\partial}{\partial r_k^\lambda} \right) = -\frac{1}{\rho_k} \frac{\partial P_{\lambda\lambda'}^k}{\partial r_k^{\lambda'}} + \frac{1}{\rho_k} \int \frac{\partial \dot{r}_k^\lambda}{\partial p_k^{\lambda'}} p^\lambda D d\Gamma_k / (dr_k).$$

Если использовать моноскоростное приближение $f_k(x, v, t) = \rho_k(x, t) \delta(v_k - V_k(x, t))$ для

выделенного k_0 -го уравнения системы, то правая часть второго уравнения вышеприведенной системы редуцируется к виду

$$-\rho_k^{-1} \text{div}_{p_k} \int p_k D d\Gamma_k / dr_k \equiv -\rho_k^{-1} \nabla U$$

($U = U(D, p_k^\lambda)$); член, связанный с эффективным давлением, элиминируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Власов А.А. Статистические функции распределения. М. Наука. 1966.
2. Morrison P.J. Hamiltonian field description of one-dimensional Poisson–Vlasov equation. Princeton University Plasma Physics Laboratory Report. PPPL–1788. 1981.
3. Marsden J.E., Weinstein A. Coadjoint orbits, vortices and Clebsch variables for incompressible fluids // Physica D. V. 4. PP. 394–406. 1982.
4. Козлов В.В. Замечания о стационарных вихревых движениях сплошной среды // ПММ. 1983. Т. 47. № 2. СС. 321–342.
5. Козлов В.В. Гидродинамика гамильтоновых систем // Вестн. МГУ. Сер. Мат. и мех. 1982. № 5. СС. 10–22.
6. Пуанкаре А. Теория вихрей. Ижевск. НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”. 2000.
7. Козлов В.В. Общая теория вихрей. Ижевск. ИД “Удмуртский университет”. 1998.
8. Bohm D. General theory of collective coordinates. London. 1959.
9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.–Л.: ГИТТЛ. 1950.
10. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. 1. М. ГИФМЛ. 1963.
11. Majda A.J., Bertozzi A.L. Vorticity and incompressible flow. Cambridge: Cambridge University Press. 2002.
12. Misiołek, G. Stability of flows of ideal fluids and the geometry of the group of diffeomorphisms // Indiana Univ. Math. J. V. 42. PP. 215–235. 1993.
13. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М. Наука. 1965.
14. Joyce G., Montgomery D. Negative temperature states for the two-dimensional guiding-center plasma // J. Plasma Phys. V. 10. № 1. PP. 107–121. 1973.
15. Liouville J., Sur l’equation aux derivees partielles $\frac{d^2 \ln \lambda}{dudv} \pm 2\lambda a^2 = 0$ // J. Math. Pures Appl. V. 18. PP. 71–72. 1853.
16. Suzuki T. Global analysis for a two-dimensional elliptic eigenvalue problem with the exponential nonlinearity // Ann. de l’I.H.P. T. 9. No. 4. PP. 367–397. 1992.
17. Гюнтер Н.М. Интегрирование уравнений первого порядка в частных производных. М.–Л. ГИИ. 1934.
18. Matveev V.B., Salle M.A. Darboux transformations and solitons. Springer–Verlag. 1991.
19. Ламб Г. Гидродинамика. М.–Л. ГИТТЛ. 1947.
20. Мелешко В.В., Константинов М.Ю. Динамика вихревых структур. Киев. Наукова Думка. 1993.

TECHNICAL SCIENCES**УДК 539.421
USING ABAQUS PRODUCT FOR MODELING OF CRACK FILLING BY COMPOSITE MATERIAL****Babin A.***Undergraduate student of the Department "Technological machines and equipment",
USPTU, Ufa, the Russian Federation***Abdrakhmanova K.***Undergraduate student of the Department "Industrial safety and labor protection",
USPTU, Ufa, the Russian Federation***Gafarova V.***Post graduate student of the Department "Technological machines and equipment",
USPTU, Ufa, the Russian Federation***ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ABAQUS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЗАДЕЛКИ ТРЕЩИНЫ В МЕТАЛЛЕ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ****Бабин А.Ю.***магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ г.Уфа,
Российская Федерация***Абдрахманова К.Н.***магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ г.Уфа,
Российская Федерация***Гафарова В.А.***аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ г.Уфа,
Российская Федерация***Abstract**

During technical examination of pipelines or technological equipment, metal crack is quite often detected. It is one of the most dangerous defect, because it may lead to leaks and spills of flammable, explosive substances that are present in oil and gas facilities in large quantities. Such leaks lead to major accidents, in connection with this, the issue of eliminating such problems is important for industrial safety.

The main methods of defects repairing, is cutting of the faulty section or welding of sleeve, but these methods are metal-consuming and also require shut down of technological process. Such aspects contribute to an active study of composite material application for crack filling to extend the between overhaul period, in an economic way.

Computer simulation is widely used in many industries, as it allows for calculations and make experiments without harm to people. All calculations for modeling of composite material crack filling and determining the effectiveness of this technology were carried out in Abaqus program. Stretching experiments of samples with crack imitation, with different properties of the material, allows determining the effective parameters of composite, and demonstrates the behavior of the material under different conditions.

Аннотация

При проведении плановой диагностики трубопроводов или технологического оборудования такой дефект, как трещина обнаруживаются довольно часто. Он является одним из наиболее опасных, так как становится причиной утечек и разливов легковоспламеняющихся, взрывоопасных веществ, которые на объектах присутствуют в больших объемах. Подобные утечки приводят к крупным авариям, в связи с этим для промышленной безопасности остро стоит вопрос устранения подобных неисправностей.

В качестве основных методов ремонта обнаруженных дефектов применяется вырезка неисправного участка или приварка муфты, но эти метода металлоемки и кроме того требуется остановке технологического процесса. Подобные аспекты способствует активному исследованию применения композитного материала для заделки трещины в целях продления межремонтного периода, экономически выгодным путем.

Компьютерное моделирование широко применяется во многих отраслях промышленности, так как позволяет проводить расчеты и эксперименты без вреда для окружающих. При моделировании заделки трещины композитным материалом и определению эффективности применения этой технологии все расчеты проводились в программном комплексе Abaqus. Ряд экспериментов направленных на растяжение образцов с имитацией трещины, при различных свойствах материала, позволяет определить эффективные параметры состава, а также демонстрирует поведение материала при различных условиях.

Keywords: composite material, metal crack, pipeline, computer modelling, Abaqus, industrial safety**Ключевые слова:** композитный материал, трещина, трубопровод, компьютерное моделирование, Abaqus, безопасность производства

Одной из наиболее важных сфер деятельности человека для экономики страны является нефтегазовая индустрия, но в то же время она же считается одной из наиболее опасных. На объектах нефтегазовой области присутствуют, транспортируются, перерабатываются в большом количестве легковоспламеняющиеся, взрывоопасные вещества, утечки и разливы которых приводят к крупным авариям [1,2].

В процессе плановой диагностики трубопровода трещины обнаруживаются довольно часто. Именно этот дефект зачастую становится причиной утечек, в связи с этим для промышленной безопасности остро стоит вопрос экономически выгодного и качественного устранения дефекта [3-5]. Фотография трещины в основном металле трубопровода представлена на рисунке 1.

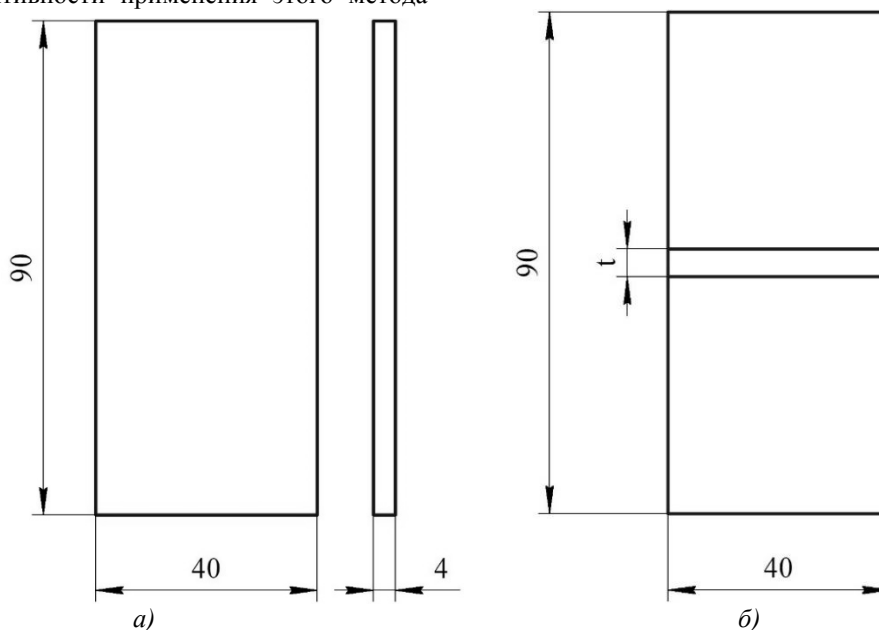


Рисунок 1- Трещина в основном металле трубопровода

В качестве основных методов ремонта обнаруженных трещин применяется вырезка неисправного участка или приварка муфты, но это приводит к большому расходу металла и остановке технологического процесса. В связи с этим активно исследуется применение композитного материала для заделки трещины в целях продления безопасного межремонтного периода [6-8]. На сегодняшний день компьютерное моделирование широко применяется во всех отраслях нефтегазовой промышленности, так как позволяет проводить необходимые эксперименты без вреда для окружающих, оборудования и природы. При решении задачи по моделированию заделки трещины композитом и определению эффективности применения этого метода

расчеты проводились в программном комплексе Abaqus [9-12].

Первым шагом при моделировании заделки трещины необходимо определить поведение материалов, что составит важную теоретическую основу для дальнейших исследований. В качестве основного образца для испытаний принималась плоская пластина без прослойки и пластина с прослойкой из другого материала, параметры которых представлены на рисунке 2, выполненные из стали 09Г2С (плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$).



а – эскиз образца, б – эскиз образца с прослойкой из другого материала

Рисунок 2- Эскизы образцов нагружения

Для подтверждения возможности и адекватности компьютерного моделирования при решении подобного вопроса, было проведено сравнение истинной диаграммы растяжения плоской пластины

полученной в процессе физического и имитационного растяжения образца. Диаграмма представлена на рисунке 3.

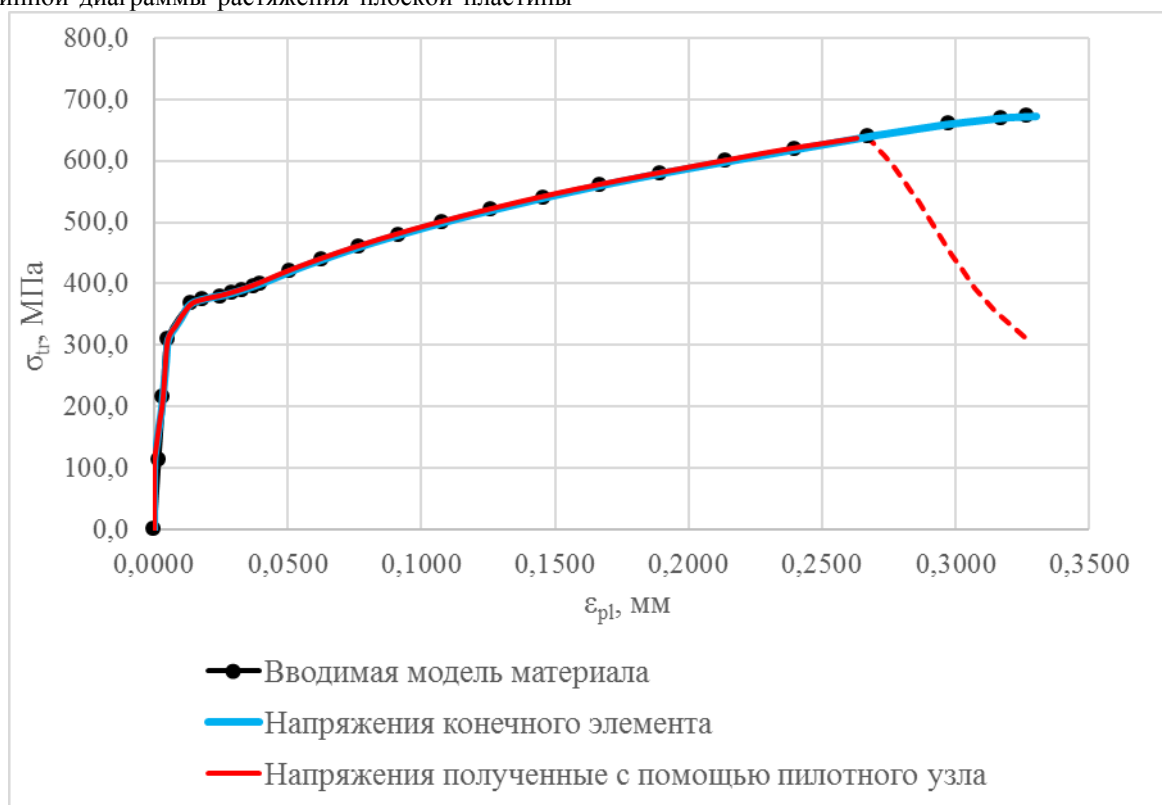
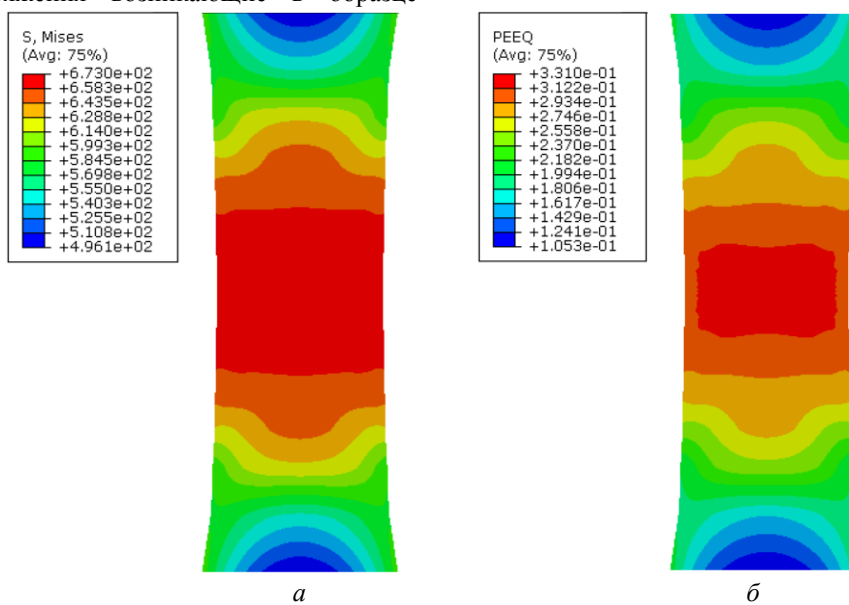


Рисунок 3 – Диаграмма растяжения модели плоской пластины

Построенные кривые полностью совпадают, это свидетельствует о корректности выполненных расчетов, то есть это подтверждает возможность решения подобных задач в программном комплексе Abaqus. Напряжения возникающие в образце

можно увидеть на эпюре эквивалентных напряжений, и эпюре эквивалентных пластических деформаций (рисунок 4).



а – эпюра эквивалентных напряжений;

б – эпюра эквивалентных пластических деформаций

Рисунок 4 – Результаты моделирования одноосного растяжения плоской пластины

Так как в процессе выполнения исследования конечные свойства композитного материала были не известны, то в качестве эксперимента, была составлена база данных материалов, путем последовательного уменьшения прочности основного мате-

риала (M1) с шагом в 10%. По полученной диаграмме растяжения для дальнейшего исследования был выбран материал M2=0,6M1, продемонстрировавший наиболее оптимальные показатели (рисунок 5).

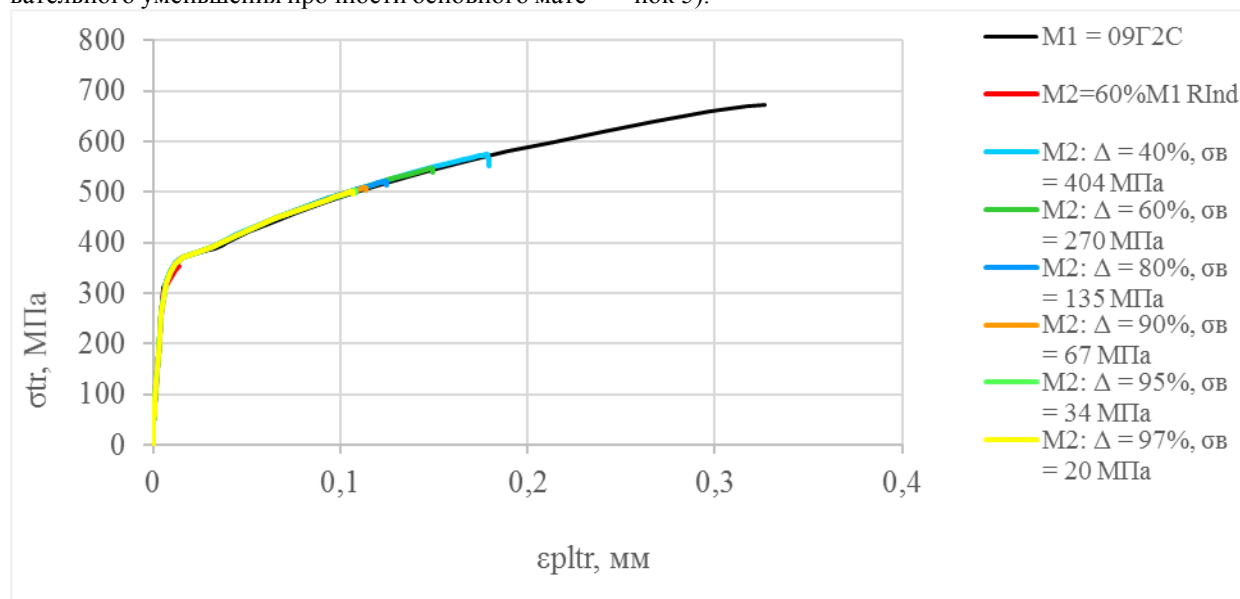


Рисунок 4

Для имитации раскрытия трещины и определения, при каких максимальных параметрах не будет происходить влияние на деформацию самой пластины, образец нагружения был представлен с прослойкой из другого материала. Высота прослойки

принималась равной 30 мм и 1 мм. Диаграмма растяжения плоской пластины представлена на рисунке 6.

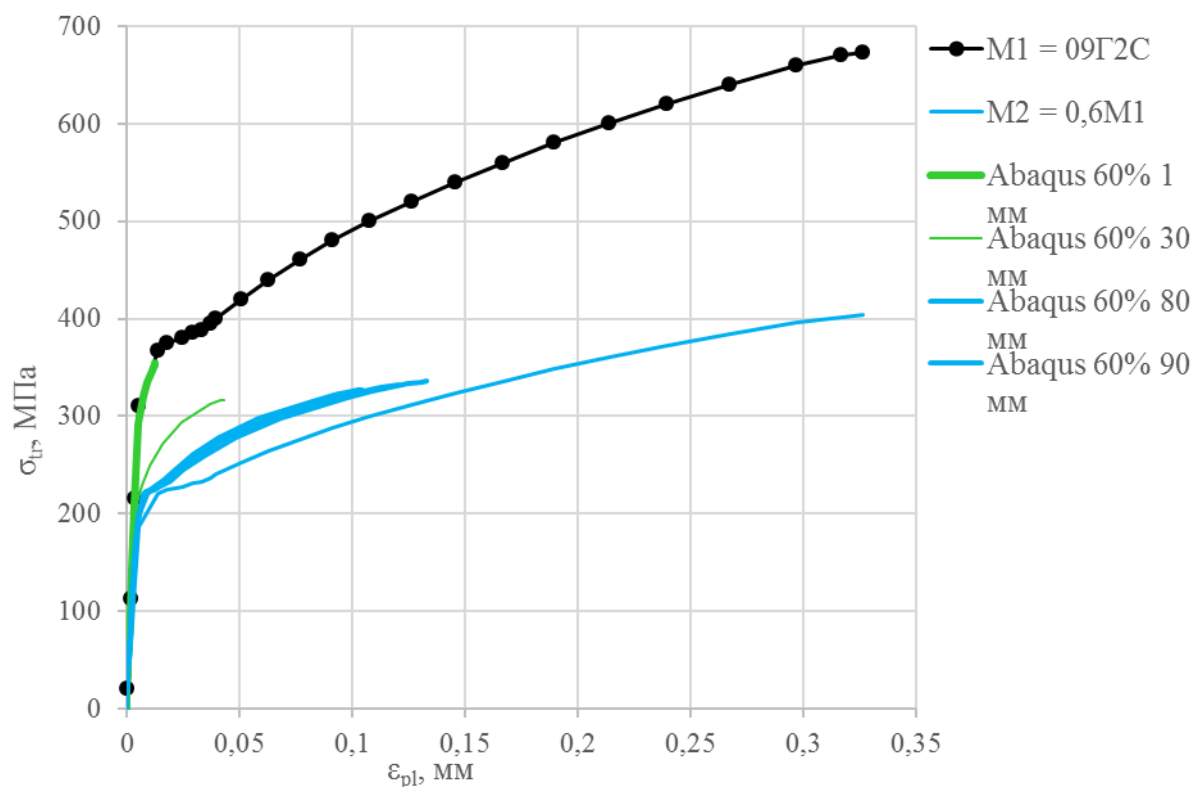


Рисунок 6 – Диаграммы растяжения пластины с прослойкой

По полученной диаграмме можно сделать вывод, что с уменьшением высоты прослойки, диа-

грамма приближается к вводимой модели основного материала и соответственно, наоборот при увеличении. При высоте равной 1 мм, диаграмма

растяжения совпадает со свойствами стали 09Г2С. Заделка дефекта при небольшом раскрытии не будет способствовать возникновению дополнительной деформации объекта ремонта, соответственно не несет негативное воздействие на конструкцию.

Также важным этапом при проведении компьютерного моделирования является построение сетки конечных элементов, так как от этого напрямую зависит точность результатов. Мелкая сетка

целесообразна к применению при решении задач с ожидаемым большим градиентом деформации или перемещения. Крупная сетка, в свою очередь, может применяться в зонах с малоизменяющимися относительными деформациями или напряжениями, а также в областях, не представляющих особого интереса при расчете. Зависимость максимально возможного решения от размера конечного элемента представлена на рисунке 7.

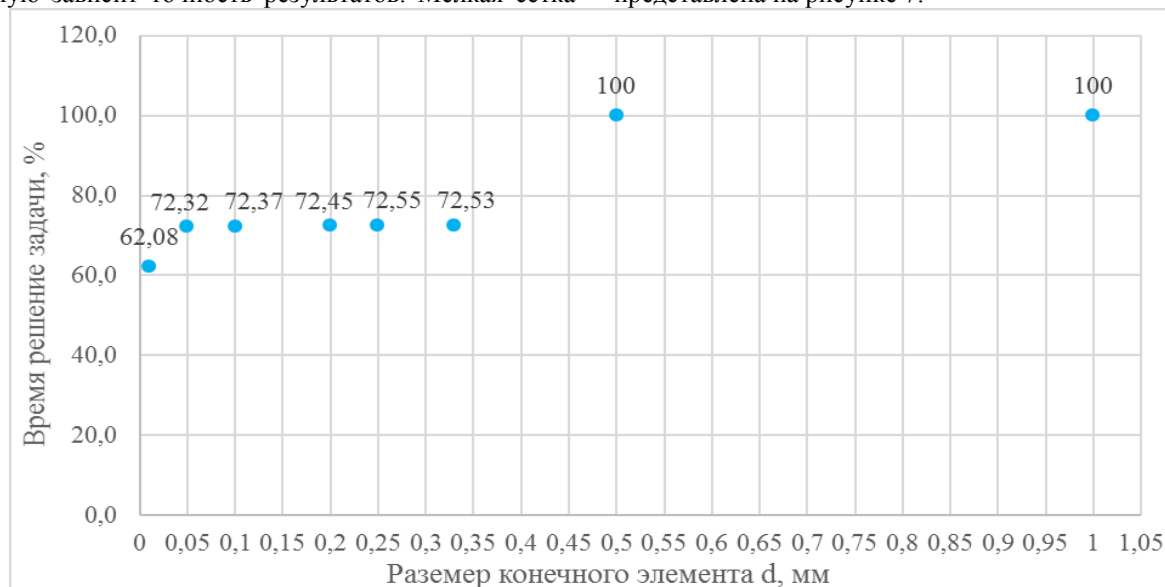


Рисунок 7 – Зависимость максимально возможного решения от размера конечных элементов

Уменьшение прочности материала даже на 10% от базовой, приводит к резкому уменьшению предела прочности образца. Создание композитного материала близкого по прочности к металлу крайне сложно, поэтому важно определить при каких условиях созданный состав будет иметь большую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств / Н. Х. Абдрахманов, В. П. Матвеев, А. С. Нищета, В. В. Савицкий, О. А. Доржиева, Т. А. Хакимов // Сборник «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов». 2015. С.162-164.
2. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V. , Abdrakhmanova L., Basyirova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology based on Information-Management Safety System/ Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, № 12: pp.7880-7888. <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2017.7880.7888>
3. Кускильдин Р.А. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли/ Р.А. Кускиль-

дин, Н.Х. Абдрахманов, З.А. Закирова, Э.Ф. Ялалова, К.Н. Абдрахманова, В.В. Ворохобко// Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. №2(108).С.111-120.

4. Абдрахманов Н.Х. Концепция системы мониторинга и управления рисками на резервуарных парках/ Сборник «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах. Технический надзор, диагностика и экспертиза»: Материалы научно-практической конференции /Ответственный редактор А.М. Шаммазов. Уфа: изд-во УГНТУ, 2007. С.41-43.

5. Fedosov F.V., Abdrakhmanov N.Kh., Khamitova A.N., Abdrakhmanova K.N Assessment of the human factor influence on the accident initiation in the oil and gas industry/ Территория нефтегаз. 2018. № 1-2. С.62-70.(публик. на англ.).

6. Абдрахманова К.Н. Анализ современных методов ремонта трещин в технологическом оборудовании и трубопроводе с целью увеличения эксплуатационной безопасности./ Абдрахманова К.Н., Гареева Э.Р., Кузеев И.Р. // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2016. №4. С. 122-126.

7. Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Гилязов Э.М. Техническое диагностирование нефтегазового оборудования с трещиноподобными дефектами, как мера повышения безопасности производства/ НТЖ «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов», 2017, №1. С. 95-101.

8. Шайбаков Р.А. Расследование аварийных ситуаций: новые методы и подходы/ Р.А. Шайбаков, Н.Х. Абдрахманов, И.Р. Кузеев, А.С. Симарчук, Ф.Р. Рахимов// Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Научно-технический журнал. – 2008г. №3. С.110-121.

9. Абдрахманов Н.Х. Требования к программному обеспечению построения информационно-управляющей системы безопасности при эксплуатации опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли/ Н.Х. Абдрахманов, К.Н. Абдрахманова, В.В. Ворохобко, Р.Н. Абдрахманов // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. Научно-технический журнал. 2016. №2(8). С.43-45.

10. Kunelbayev M.M Heat absorption by heat-transfer agent in a flat plate solar collector /M.M. Kunelbayev, E.Sh. Gaysin, V.V. Repin, M.M. Galullin, K.N. Abdrakhmanova // International Journal of Pure and Applied Mathematics, Volume 115, No. 455

(2017), pp. 305-319, doi: 10.12732/ijpam.v115i455.10, Available <http://www.ijpam.eu/contents/2017-115-3/index.html> (Scopus, Кувейт).

11. A.V. Fedosov, N. Kh. Abdrakhmanov, E. Sh. Gaysin, G. M. Sharafutdinova, K. N. Abdrakhmanova, A. A. Shammatova The use of mathematical models in the assessment of the measurements' uncertainty for the purpose of the industrial safety condition analysis of the dangerous production objects / International Journal of Pure and Applied Mathematics Volume 119 No. 10 2108, pp. 433-437.

12. Gaisina L.M. Principios y métodos de modelización sinérgica del sistema de gestión en las empresas del sector de petróleo y gas /L.M. Gaisina, M.L. Belonozhko, N.A. Tkacheva, N.Kh. Abdrakhmanov, N.V. Grogulenko // Revista ESPACIOS. Vol. 38 (Nº 33) Año 2017, <http://www.revistaespacios.com/a17v38n33/17383305.html> (ISSN0798 1015-Venezuela-Scopus).

MODERNIZED DEVICE FOR APPLICATION OF PENOISOI

Gilmiyarova E.

2nd year student of the Energy department Bashkir SAU, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34

Shayhutdinov I.

4th year student of the Energy department Bashkir SAU, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34

МОДЕРНИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПЕНОИЗОЛА

Гильмиярова Э.Б.

студент 2 курса Энергетического факультета ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

Шайхутдинов И.Н.

студент 4 курса Энергетического факультета ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

Abstract

The article deals with the physical and technical characteristics of the thermal insulation material – penoizol. The work of the improved device for thermal insulation application is described. The results of insulation works with the use of the device, identified shortcomings of the object, proposed solutions to the problem.

Аннотация

В статье рассматриваются физико-технические характеристики теплоизоляционного материала – пеноизол. Описана работа усовершенствованного устройства для нанесения утеплителя. Приведены результаты работы по утеплению с использованием устройства, выявлены недостатки эксплуатации установки, предложены пути решения проблем.

Keywords: thermal insulation, insulation parameters, thermal conductivity, thickness of insulation, thermal resistance, foaming, agriculture.

Ключевые слова: теплоизоляция, изоляционные параметры, теплопроводность, толщина изоляции, термическое сопротивление, пенообразование, сельское хозяйство.

В настоящее время при строительстве используется широкий спектр строительных материалов, особую роль в котором занимают теплоизоляционные материалы [1, с.19]. Их влияние очень трудно переоценить, поскольку от качества используемых утеплителей зависят практически все области строительства. Заметна тонкая грань между качеством теплоизоляционного материала и последующими условиями нахождения в помещении и себестоимостью его эксплуатации. Теплоизоляция определяет

во многом уровень качества получаемых помещений, на его конечную стоимость а так же на те расходы, которые будут затрачиваться на эксплуатацию здания в течении всего срока его службы. Не исключение и сельское хозяйство.

В течении последнего ряда лет потребность в эффективных утеплителях растет. Следовательно растет и предложение - каждый год на рынке изоляции появляется 5-6 новых наименований тепло-

изоляторов. Особо остро встает вопрос о необходимости использования недорогого теплоизоляционного материала с достойными изоляционными параметрами. Причем этот материал должен быть доступен для массового производства в любом регионе России. Один из недорогих и качественных утеплителей - пеноизол.

В соответствии с действовавшим ГОСТом 16381-77 «Пеноизол» по виду исходного сырья относится к органическим ячеистым карбамидным пенопластам. Средняя плотность материала составляет $8...35 \text{ кг/м}^3$ [2, с.3], по теплопроводности он относится к классу материалов с низкой теплопроводностью $\lambda=0,03...0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ [3, с.60]. Он отличается большой сопротивляемостью горению, стойкостью к действию микроорганизмов, доступностью сырья, легкостью механической обработки, низкой ценой. Физико-технические и эксплуатационные характеристики пеноизола обусловлены в первую очередь содержанием в нем до 90% газовой фазы, химическим составом, соотношением исходных компонентов, технологией и регламентом его производства. Он применяется для теплоизоляции

строительных конструкций и промышленного оборудования, как в виде плит, так и в качестве заливочной теплоизоляции (поэтому его иногда называют «жидким пенопластом») [4, с.31; 5, с.87]. Затвердевший, правильно изготовленный пеноизол практически не выделяет в атмосферу вредные вещества и может применяться в жилых зданиях, обладает высокой долговечностью. Мелкопористая структура обеспечивает хорошие звукопоглощающие свойства [6, с.3].

Изготавливается он методом вспенивания сжатым воздухом раствора специального катализатора для отверждения (ортофосфорной кислоты) и пенообразователя (лаурилсульфатнатрия – ЭМАЛ 270) с их последующим смешиванием с карбамидоформальдегидной смолой в пеногенераторе. На современном рынке очень мало устройств, которые позволяют производить данный утеплитель. Одним из таких устройств является разработанная нами установка (рисунок 1).

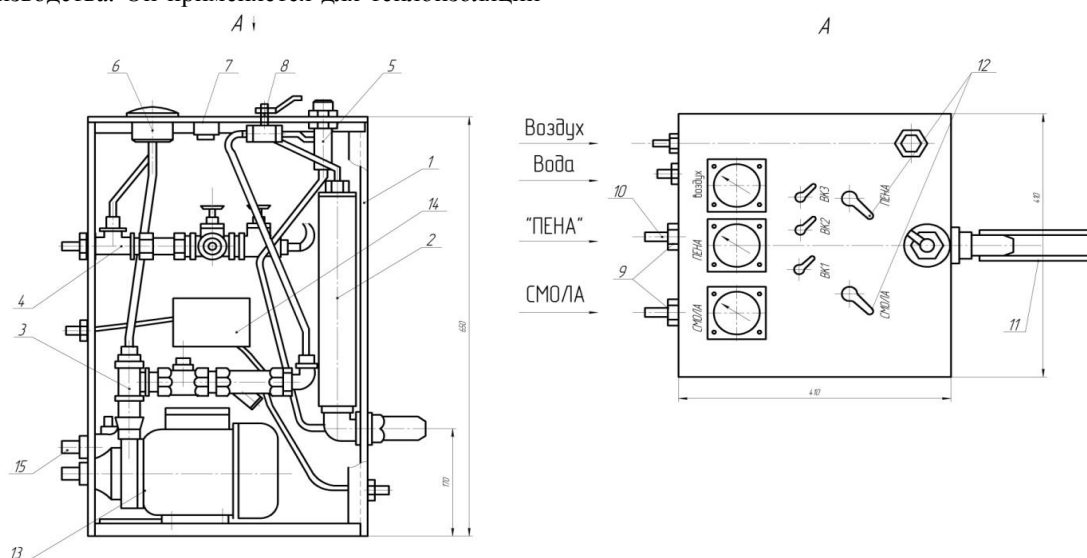


Рисунок 1 – Предлагаемое устройство для нанесения пеноизола: 1- корпус, 2- пеногенератор, 3, 4- тройник, 5- сальник, 6- манометр, 7- тумблер, 8- крышка, 9, 10- штуцер, 11- рукав, 12- вентили, 13,15- насос, 14- индуктивный электронагреватель

Работает оно следующим образом: с помощью насоса 15 раствор из строго заданных вентилей 12 частей компонентов (вода, пенообразователь, катализатор и воздух (под давлением)) подается в пеногенератор 2. В пеногенераторе 2 раствор вспенивается под действием на него сжатого воздуха. Затем в образованную пенистую массу вводится (насосом 13) главный компонент – карбамидоформальдегидная смола. Далее пеномасса и смола перемешиваются проходя по смешительно-подающему рукаву 11, и образуется полимерная масса. В этой установке есть существенный недостаток.

При бесперебойном питании растворы нужно бесперебойно обновлять, добавляя компоненты и воду. Используемая вода из сети (скважины или колодца) нужна для разбавления компонентов до необходимой концентрации. Водопроводная вода

имеет температуру не более 5°C и, попадая в установку, снижает пенообразование. Это является недостатком установки.

Нами предлагается использовать встроенный индуктивный электронагреватель 14, которого при штатной комплектации нет. Как показал опыт эксплуатации, температура, необходимая для качественного пенообразования, находится в диапазоне от 80°C до 99°C , исходя из этого рассчитанное номинальное напряжение его питания составило $U=220 \text{ В}$ и ток нагрузки $I=3 \text{ А}$.

С использованием предлагаемой модернизированной установки нами были утеплены перекрытия ряда помещений и, анализируя выполненную работу, были сделаны следующие заключения:

- использование подогрева питательной воды до 50°C улучшает качество вспенивания на 50%,

подогрев до 99 °С также способствует пенообразованию, но увеличивает энергозатраты и, в конечном итоге себестоимость выхода пены;

- в слоях толщиной более 25 см ухудшается влагообмен между стенкой и ок- ружающей средой, что ведет к задержке конденсата, что недопустимо;
- при «переутеплении» возникает переизбыток температуры в помещениях, что обычно сопровождается теплопотерями через открытые окна и фор- точки.

Следовательно, исходя из результатов, нами были предложены следующие пути решения этих проблем:

- обеспечить температуру подогрева компо- нентов в диапазоне 50...90°С;
- обеспечить строго необходимую толщину слоя, что позволит создать необходимую воздухо- проницаемость сплошного слоя утеплителя;
- одновременно с утеплением необходимо кор- ректировать работу системы отопления, с целью исключения теплоизбытков.

Среднюю толщину требуемого перекрытия можно найти по предложенной формуле [4, с.33]:

$$\delta_k = (R_0^{\text{норм}} - (R_b + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_n)) \cdot \lambda_k,$$

где λ_k – теплопроводность основного слоя конструкции, Вт/(м·К);

$\sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – сумма термических сопротивлений теплопроводности отдельных слоев толщиной δ_i , м, теплопроводностью λ_i , Вт/(м·К);

R_b – термическое сопротивление тепловос- приятия внутренней поверхности, (м²·К)/Вт [6, с.7];

R_n – термическое сопротивление теплоотдачи наружной поверхности, (м²·К)/Вт [6, с.7];

$R_0^{\text{норм}}$ – общее термическое сопротивление теплопередачи, определяется по выражению:

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_b - t_{\text{кр}}) \cdot n}{\Delta t^{\text{н}}} \cdot R_0,$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{\text{кр}}$ – расчетная температура наружного воз- духа в холодный период года, °С;

$\Delta t^{\text{н}}$ – нормативный теплоперепад между тем- пературами воздуха помещения и внутренней по- верхности [6, с.11];

n – поправочный коэффициент к расчетной разнице температур, принимаемый в зависимости от положения конструкции по отношению к наруж- ному воздуху [6, с.11];

R_0 – общее термическое сопротивление тепло- передачи, (м²·К)/Вт, определяется по выражению:

$$R_0 = R_b + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_n$$

Используя эти формулы, нами была опреде- лена необходимая номинальная толщина нанесения пеноизола $\delta=12$ см.

Регулировка же систем заключается на коррек- тировке расхода топлива котлом в сторону сниже- ния.

Расчеты показали, что себестоимость всей установки в целом составляет 45 тысяч рублей, а срок окупаемости – 9 месяцев при средней стоимо- сти природного газа 5,18 рублей за 1 м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Инсафудинов, С.З. Автономная система энергообеспечения/ Инсафудинов, С.З., Гайсин, Э.М., Сафин, Ф.Р.// Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование: материалы Международной научно-практической конфе- ренции, проводимой в рамках XVII специализированной выставки (Уфа, 10-11 апреля 2013 г.)/ Башкирский ГАУ. – Уфа, 2013. – С. 19-21.
2. Устройство для измерения неравномерно- сти подачи топлива: пат. 2301910 Российская Феде- рация МПК F02M 65/00 (2006.01)/ Баширов, Р.М., Галиуллин, Р.Р., Инсафудинов, С.З.; заявитель и патентообладатель Башкирский государственный аграрный университет. – 2005117259/06, ; заявл. 06.06.05; опубл. 27.06.07, Бюл. № 18 – 5 с.
3. Баширов, Р.М. Совершенствование мето- дики регулирования топливной аппаратуры трак- торных дизелей./ Р.М. Баширов, Ф.Р. Сафин., С.З. Инсафудинов// Вестник Башкирского государ- ственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 60-64.
4. Инсафудинов, С.З. Повышение эффектив- ности эксплуатации системы отопления производ- ственного здания с использованием пофасадного регулирования температуры/ Инсафудинов, С.З, Ишбулатов, А.А., Сафин, Ф.Р.// Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование: материалы II Международной научно-практической конферен- ции в рамках XVIII специализированной выставки (Уфа, 8-11 апреля 2014 г.)/ Башкирский ГАУ. – Уфа, 2014. – С. 31-34.
5. Баширов, Р.М. Разработка Устройства Противодавления Впрыску Для Регулировочных Стендов Топливной Аппаратуры Дизелей./ Р.М. Ба- шилов, Ф.Р. Сафин, С.З. Инсафудинов, А.А. Соро- кин.//Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (49). С. 87-89.
6. Строительные нормы и правила: Тепловая защита зданий: СНиП 23-02-03: Введ. 1.07.2013 - М.: Минрегион России, 2012. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
7. Миннигалиев, А.М. Совершенствование послеремонтного диагностирования тракторных дизелей. /А.М Миннигалиев., Д.Д. Харисов Д.Д., С.З. Инсафудинов.// Механизация и электрифика- ция сельского хозяйства. 2013. № 4. С. 23-24.

DEVELOPMENT OF THE REPAIR KIT WITH THE APPLICATION OF NEW TRIBOSOPRYAZHENIE AS A KIND OF FUNCTIONAL TUNING**Vinogradov A.***Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saratov state technical University named after Y. A. Gagarin» Russia, Saratov***Kovalenko M.***Master of Science, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saratov state technical University named after Y. A. Gagarin» Russia, Saratov***РАЗРАБОТКА РЕМОНТНОГО КОМПЛЕКТА ЦПГ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВОГО ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ КАК ВИДА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЮНИНГА****Виноградов А.Н.***Доктор технических наук, доцент, профессор, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина***Коваленко М.А.***Магистр, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина***Abstract**

The aim of the work is to increase the service life of the vehicle and reduce the cost of maintenance with the use of new types and principles of tribo-conjugation. To achieve this goal, a number of tasks are being solved. The analysis of the state of the matter of materials used in engine building is carried out. An analytical study of the development of the repair kit was carried out. A technique for the search and introduction of a new tribocoupling has been developed. Practical recommendations and conclusions are drawn for further development of the topic.

Аннотация

Целью работы является повышение ресурса ЦПГ автомобиля и снижение затрат на обслуживание с применением новых видов и принципов работы трибосопряжений. Для достижения поставленной цели решается ряд задач.

Проведен анализ состояния вопроса о материалах, применяемых в двигателестроении. Проведено аналитическое исследование процесса разработки ремонтного комплекта. Разработана методика поиска и внедрения нового трибосопряжения. Определены практические рекомендации и сделаны выводы для дальнейшей разработки темы.

Keywords: repair kit, CPU, tribo-coupling, ICE, piston, sleeve.**Ключевые слова:** ремонтный комплект, ЦПГ, трибосопряжение, ДВС, поршень, гильза.

Исследования в области повышения надежности и снижения затрат на поддержание работоспособности элементов ЦПГ в процессе эксплуатации автомобилей ведутся в различных научных и образовательных учреждениях таких, а также в ряде зарубежных стран. Однако, исследования в области разработки нового трибосопряжения для повышения КПД, увеличении ресурса двигателя в целом, повышения мощностных показателей другими исследователями не проводились и публикации по этой тематике нам не известны [1, С. 4].

Объектом исследования являются процессы функционирования элементов ЦПГ ДВС при его эксплуатации. Таким образом, тема исследования, направлена на научное обоснование, разработку и внедрение в технологический процесс технического обслуживания и ремонта автомобилей ремонтных циклов ЦПГ двигателей с использованием новых трибосопряжений, позволяющих повысить ресурс элементов поршневой группы двигателя, и отказаться от использования поршневых колец.

В таком случае уплотнение внутрицилиндрового пространства должно осуществляться за счет одинакового ТКР (температурного коэффициента расширения) пары трения на всем диапазоне рабо-

чих температур из чего следует, что зазор в трибосопряжении во всем диапазоне рабочих температур будет оставаться постоянно минимальным и достаточным для того, чтобы не привести к заклиниванию [4, С. 15]. Для этого необходимо подобрать материал со сходным коэффициентом линейного расширения по отношению к материалу гильзы выполненной из бериллиевой БрБ2 бронзы.

Бериллиевая бронза - перспективный материал для изготовления гильзы - как вариант использования в нашем трибосопряжении [2, С. 78].

Бериллиевые бронзы относятся к классу так называемых дисперсионно упрочняемых сплавов, характерной особенностью которых является зависимость растворимости легирующих компонентов от температуры.

В связи с необходимостью добиться твердости БрБ2 (100-150Мпа) сравнимой с чугунами гильзами СЧ25 (260-300Мпа), применяется технология термической закалки, с последующим нанесением упрочняющего покрытия. Температурный коэффициент расширения БрБ2 составляет $16.1 \frac{1}{\text{град}}$

Из этого следует, что необходимо подобрать материал поршня как сопрягаемой пары в ремонт-

ном комплекте со сходным температурным коэффициентом расширения. Подобрал материалы, мы выбрали наиболее удовлетворяющий нашим требованиям как по прочностным, так и механическим, и

температурным свойствам: СПАП АК8Л; АК12М2МгН; АЛ26; АЛ30; АЛ19; АК4-1[3].

Таблица 1.1

Сводная статистика характеристик материалов

п/н	Материал	$\alpha \times 10^6$	НВ МПа	ρ кг/м ³
1	БРБ2	16.6	150	8200
2	АК8-Л	20.7	60-90	2630
3	АК12-М	19	90	2720
4	АЛ26	17	90	2680
5	АЛ30	19	90-100	2700
6	АЛ19	19.5	70-90	2780
7	АК4-1	20.8	109-117	2800

Нанесение покрытия методом гальванического хромирования, после термической закалки и легирования кремнием, позволяет добиться твердости гильзы сравнимой с твердостью СЧ25[3]. Сплав из алюминия и бронзы считается здесь особенно пригодным, поскольку он имеет хорошие качества скольжения относительно поршней, изготовленных из алюминия [4, С. 20]. Покрытие было нанесено толщиной до 0,1 мм, и после нанесения, примерно около одной третьей части толщины покрытия было удалено хонингованием.

Таким образом созданы условия для стабильной работы нового трибосопряжения гильза БрБ2 – поршень АЛ26[3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хрулев. А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. – 1998. – 30 – 89с.
2. В. Г. Сорокин В. Г., А. В. Волосникова А. В., С. А. Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов/ Под общей редакцией В. Г.Сорокина //М.: Машиностроение. 1989. — 58 – 64с.
3. Марочник стали и сплавов [Электронный ресурс]: разработан под руководством профессора Бреславского URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1379
4. Глазунов С.В., Сабинин А.А. - Скоростные автомобили за рубежом. – 1960 – 14 – 20с.

MATHEMATICAL MODEL FOR THE CHOICE OPTIMUM VEHICLES FOR AGRICULTURAL TRANSPORTATIONS

Pekhutov A.

Dr.Sci.Tech., senior lecturer Federal state educational institution of higher education the Buryat state agricultural academy of V.R.Filippov

Aldoshin D.

The post-graduate student of federal state educational institution of higher education the Russian state agrarian university - MCXA of K.A.Timirjazeva

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПЕРЕВОЗОК

Пехутов А. С.

д.т.н., доцент ФГОУ ВО

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р.Филиппова

Алдошин Д.Н.

аспирант ФГОУ ВО

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

Abstract

The analytical method of a choice of the most effective cars for certain kinds of transportations in agriculture with use of mathematical model is considered.

Аннотация

Рассматривается аналитический метод выбора наиболее эффективных автомобилей для определенных видов перевозок в сельском хозяйстве с использованием математической модели.

Keywords: analytical method, efficiency, the car, the trailer, fitness, the factor, range of transportations.

Ключевые слова: аналитический метод, эффективность, автомобиль, приспособленность, фактор, дальность перевозок.

Для сравнения автомобилей по их эффективности на одном виде перевозок существует графо-аналитический метод [1, 4], который является довольно трудоемким. Весь процесс состоит из предварительных расчетов, построения по их результатам графиков и на их основе определения наиболее эффективного автомобиля с пределами их использования по дальности перевозок. Этот метод был усовершенствован авторами [2, 3], однако суть его практически не изменилась, поскольку не исключенный метод освобожден от построения графиков. Выбор наиболее эффективных автомобилей и пределы их использования производится аналитически – математическими расчетами. Основывается метод на учете свойства приспособленности транспортных средств по фактору дальности перевозок. Однако для проверки и наглядности не исключается возможность построения графиков.

Существует множество способов, позволяющих оценить эффективность транспортных средств при их выборе на определенных сельскохозяйственных перевозках. Однако всесторонне оценить приспособленность транспортных средств по фактору дальности перевозок можно с помощью удельных приведенных затрат на единицу транспортной продукции:

$$P_{\tau} = \frac{P}{W}, \frac{\text{руб.}}{\text{ед. ттрпрод.}}. \quad (1)$$

$$P_{\tau} = \frac{I}{q\gamma} \left\{ \left[C_{\text{ч}} + \frac{100K_a(C_{\text{в}} + E_{\text{н}})}{T_{\text{г}}} \right] t_{\text{пр}} + C_{\text{е}} \right\} + \left\{ \frac{1}{q\gamma\beta} \left[C_{\text{км}} + \frac{C_{\text{ч}}}{V_{\text{т}}} + \frac{100K_a(C_{\text{в}} + E_{\text{н}})}{V_{\text{т}}T_{\text{г}}} \right] + C_{\text{ткм}} \right\} l_{\text{г}}, \text{руб./т} \quad (3)$$

Как видно из полученной формулы (3), одна часть приведенных затрат зависит от пробега, другая – не зависит. Если проанализировать часть затрат, не зависящую от пробега, то можно заметить, что это затраты, возникающие при неподвижном положении автомобиля, т.е. когда производятся погрузо-разгрузочные операции. В этой части затрат не хватает расходов непосредственно на производство погрузки-разгрузки. Поскольку эти расходы отражают приспособленность транспортных средств к погрузке-разгрузке, то без них рассматриваемая модель будет неполной. Их целесообразно объединить с расходной ставкой на 1 ездку ($C_{\text{е}}$):

для бортовых автомобилей

$$P_{\tau} = \frac{I}{q\gamma} \left[\left(C_{\text{ч}} + \frac{C_{\text{к}}}{T_{\text{г}}} \right) t_{\text{пр}} + C_{\text{пр}} \right] + \left[\frac{1}{q\gamma\beta} \left(C_{\text{км}} + \frac{C_{\text{ч}}}{V_{\text{т}}} + \frac{C_{\text{к}}}{V_{\text{т}}T_{\text{г}}} \right) + C_{\text{ткм}} \right] l_{\text{г}}, \text{руб./т} \quad (7)$$

Полученное выражение (7) можно использовать в качестве модели для интегральной оценки автомобилей по свойству их приспособленности к условиям эксплуатации. Эта модель характеризует взаимодействие автомобиля с условиями эксплуатации. В нее включены все технико-эксплуатационные и экономические показатели автомобилей, а также основные факторы условий эксплуатации, оказывающие наибольшее влияние на выходные показатели подвижного состава.

Эту формулу можно представить в следующем виде:

$$P_{\tau} = \frac{C_{\text{км}}L + C_{\text{ткм}}W_{\text{ткм}} + C_{\text{ч}}T_{\text{г}} + C_{\text{е}}Z_{\text{г}} + C_{\text{в}} + K_aE_{\text{н}}}{W_{\text{т}}}, \frac{\text{руб.}}{\text{т}} \quad (2)$$

где P_{τ} – удельные приведенные затраты на единицу объема перевозок, руб./т;

$C_{\text{км}}$, $C_{\text{ткм}}$, $C_{\text{ч}}$, $C_{\text{е}}$ – группы затрат или расходные ставки соответственно на 1 км

пробега, на 1 ткм транспортной работы, за 1 час работы, за 1 ездку, коп./км; коп./ткм;

коп./ч; коп./ездка;

L – годовой пробег, км;

$W_{\text{ткм}}$ – годовой грузооборот, ткм;

$W_{\text{т}}$ – годовой объем перевозок, т;

$T_{\text{г}}$ – годовая загрузка в часах;

$Z_{\text{г}}$ – годовое число ездов, ед.;

$C_{\text{в}}$ – амортизационные отчисления на реновацию автомобилей грузоподъемностью до 2-х тонн, в % от балансовой цены;

K_a – капитальные вложения на подвижной состав, руб.;

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности.

Раскрывая значения технико-эксплуатационных показателей с помощью известных функциональных зависимостей, подставим их в формулу (2). Сделав преобразования, получим следующее выражение:

$$C_{\text{пр}} = C'_{\text{пр}} = r_{\text{пр}} q \gamma, \text{руб./езд.} \quad (4)$$

для самосвалов

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{е}} + C'_{\text{пр}}/2 = C_{\text{е}} + r_{\text{пр}} q \gamma/2, \text{руб./езд.}, \quad (5)$$

где $C'_{\text{пр}}$ – затраты непосредственно на погрузо-разгрузочные операции, приходящиеся на 1 ездку, коп./ездка;

$r_{\text{пр}}$ – затраты непосредственно на погрузо-разгрузочные операции, приходящиеся на 1 тонно-ездку, коп./т ездки.

Обозначим $C_{\text{к}} = 100K_a(C_{\text{в}} + E_{\text{н}})$, руб (6)

Используя выражения (4), (5), (6) в (3), получим:

Если в формуле (7) оставить переменный параметр $l_{\text{г}}$, а остальные временно фиксировать, то она будет представлять линейную модель типа (8) с параметрами приспособленности A и B :

$$P_{\tau} = A + B l_{\text{г}}, \text{руб./т.} \quad (8)$$

$$A = \frac{I}{q\gamma} \left[\left(C_{\text{ч}} + \frac{C_{\text{к}}}{T_{\text{г}}} \right) t_{\text{пр}} + C_{\text{пр}} \right], \text{руб./т.} \quad (9)$$

$$B = \frac{I}{q\gamma\beta} \left(C_{\text{км}} + \frac{C_{\text{ч}}}{V_{\text{т}}} + \frac{C_{\text{к}}}{V_{\text{т}}T_{\text{г}}} \right) + C_{\text{ткм}}, \text{руб./ткм.} \quad (10)$$

Параметр A характеризует начальную приспособленность, B – является коэффициентом перед l_r , характеризует наклон прямой затрат или затраты на каждый километр пробега. Чем меньше параметры приспособленности A и B , тем лучше приспособленность транспортного средства по дальности перевозок.

По формулам 9 и 10 могут быть рассчитаны удельные приведенные затраты на перевозку одной тонны груза как для бортовых автомобилей, так и для самосвалов. В первом случае следует принять $C_e = 0$, во втором – $C_{ткм} = 0$.

При использовании в качестве интегрального показателя удельные приведенные затраты на единицу транспортной продукции модель превращается в обратную:

$$P_{ткм} = A/l_r + B, \text{ руб./ткм. (11)}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Афанасьев Л. Л., Островский Н. Б., Цукер-

берг С. П. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов / Л. Л. Афанасьев, Н. Б. Островский, С. П. Цукерберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 333 с.

2. Бутузов Ю. В. Исследование процессов обоснования состава автомобильного парка и повышения эффективности перевозок в сельскохозяйственных предприятиях: Дис. канд. техн. наук / Ю. В. Бутузов. – М., 1978. – 144 с.

3. Гоберман В. А. Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве: Эффективность и качество работы, оценка и разработка организационно-технических решений / В. А. Гоберман. – М.: Транспорт, 1986. – 287 с.

4. Лейдерман С. Е. Эксплуатация грузовых автомобилей / С. Е. Лейдерман. – М.: Транспорт, 1966. – 152 с.

5. Пехутов А. С. Формирование автомобильного парка для работы в условиях колхозов и совхозов: Дис. канд. техн. наук / А. С. Пехутов. – М., 1989. – 221 с.

COMPARISON OF PROGRESSIVE METHODS OF OBTAINING PLASMA AND LASER CUTTING TRAINS AND EXAMPLES OF THEIR PRACTICAL USE

Platonov A.

candidate of technological Sciences, associate Professor of the Department "Technology of mechanical engineering" Arzamas Polytechnic Institute (branch NGTU them. R. E. Alekseev)

Maresev V.

masterstudent, Department "Technology of mechanical engineering" Arzamas Polytechnic Institute (branch NGTU them. R. E. Alekseev)

Novikov K.

masterstudent, Department "Technology of mechanical engineering" Arzamas Polytechnic Institute (branch NGTU them. R. E. Alekseev)

Egorova T.

graduate student, Department "Technology of mechanical engineering" Arzamas Polytechnic Institute (branch NGTU them. R. E. Alekseev)

СРАВНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПЛАЗМЕННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ И ПРИМЕРЫ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Платонов А.В.

к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» Арзамасского политехнического института (филиала НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Маресев В.О.

студент магистратуры, кафедры «Технология машиностроения» Арзамасского политехнического института (филиала НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Новиков К.Н.

студент магистратуры, кафедры «Технология машиностроения» Арзамасского политехнического института (филиала НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Егорова Т.С.

магистрант, кафедры «Технология машиностроения» Арзамасского политехнического института (филиала НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Abstract

The purpose of the article is to select the optimal variant for obtaining blanks for parts such as "Rings". Two methods for obtaining annular preforms-plasma and laser cutting with the analysis of their physical and technological features-are considered. The characteristic features of the methods, general types of equipment and samples of products obtained with their use are shown. The samples of circular blanks obtained by the method of plasma and laser cutting are presented, in which the distinctive and qualitative features of the blanks.

Аннотация

Целью статьи является выбор оптимального варианта получения заготовок для деталей типа «Кольца». Рассмотрены два способа получения кольцевых заготовок – плазменная и лазерная резка с анализом их физических и технологических особенностей. Показаны характерные особенности способов, общие виды оборудования и образцы изделий, получаемых с их использованием. Представлены образцы кольцевых заготовок, полученных методом плазменной и лазерной резки, в которых наглядно отображены отличительные и качественные особенности заготовок.

Keywords: Plasma cutting, laser cutting, plasma cutting features, features of laser cutting, circular blanks, laser cutting equipment, preparation of a program for laser cutting.

Ключевые слова: Плазменная резка, лазерная резка, особенности плазменной резки, особенности лазерной резки, кольцевые заготовки, оборудование лазерной резки, подготовка программы для лазерной резки.

Правильный выбор заготовки является одним из главных факторов, определяющих себестоимость механической обработки детали (время обработки, расход инструмента, энергозатраты, заработная плата рабочих и др.). Вид заготовки и способ её получения определяет последовательность выполнения операций механической обработки, следовательно, состав оборудования применяемого при этом. Следующим критерием выбора заготовки является серийность производства – чем больше объём производства, тем более прогрессивным должен быть способ получения заготовки (с использованием инновационных технологий, обеспечивающих наименьшие припуски на обработку, исключющие некоторые операции и др.).

Использование прогрессивных методов пресущие и в условиях единичного производства – в опытном производстве. Например, при изготовлении детали типа «Кольца», которые имеют малые величины толщин (разница диаметров) и высот, не целесообразно использовать круглый стальной прокат по причине высокой стоимости заготовки (в виде диска), отрезают на специальных отрезных станках.

В первом разделе статьи представлены материалы, характеризующие физические явления, происходящие при плазменной резке кольцевых заготовок из листового металла. Показаны виды оборудования, используемого для этих целей и образцы заготовок для деталей «Установочные кольца», 37 типоразмеров, которых используются для комплектации стенда для правки дисков автомобильных колес. Новый облегченный вариант такого стенда специально проектируется магистрантами института (филиала) НГТУ им. Р.Е. Алексеева и будет изготовлен в виде выставочного образца, как

объект, характеризующих одно из практических направлений университета. Во втором разделе статьи представлены сведения, касающиеся получения кольцевых заготовок методом лазерной резки.

Технологические режимы плазменной резки

Рабочие плазмообразующие среды должны обеспечивать:

- эффективное формирование режущей дуги
- получение высококачественных кромок реза
- эффективную передачу разрезаемому металлу тепловой энергии, заимствованной в столбе дуги
- длительную работу формирующих элементов плазмотрона
- получение дополнительной энергии для резки за счет экзотермических реакций
- экономичность и безопасность работы.

Рабочие среды наиболее широко используются в виде технических газов: азота, аргона, водорода, кислорода, сжатого воздуха и др.

Рабочую среду выбирают с учетом ее свойств (табл. 1) и свойств обрабатываемого материала. Инертные газы обеспечивают получение наиболее чистых поверхностей реза, что особенно важно для резки цветных металлов. Двухатомные газы улучшают передачу энергии дуги разрезаемому металлу за счет механизма диссоциации — рекомбинации. Кислородсодержащие среды повышают энергетическую эффективность резки металлов, экзотермически реагирующих с кислородом, что обеспечивает для них наиболее высокую производительность резки [4].

Таблица 1

Физико-химические свойства плазмообразующих сред

Среда	М	у, кг/м ³	с, Дж/(кг, °С)	η, мкПа×с	λ, Вт/(м×К)	σ, См/см	q, кДж/г×моль	u, В	
								первый	второй
N ₂	28,002	1,2505	1,05	231	1,23	30	714,84	14,51	29,41
Ar	39,94	1,783	0,53	280	0,702	30	-	15,7	27,64
H ₂ O (вода, пар при 373 К)	18,016	0,598	2,02	-	-	-	485,52	-	-
H ₂	2,016	0,084	14,3	91,4	3,58	65	435,96	13,54	-
Воздух	-	1,293	1,01	260	2,60	30	-	-	-
O ₂	32,0	1,43	0,92	266	0,750	25	496,44	13,57	34,75

Примечание: М – атомная или молекулярная масса; у – удельный вес при 273 К и 101 кПа; с – теплоемкость при 273 К и 101 кПа; η – вязкость при 10×10³ К и 101 кПа; λ – теплопроводность при 10×10³ К и 101 кПа; σ – удельная электрическая проводимость при 10×10³ К и 101 кПа; q – энергия диссоциации; u – потенциал ионизации.

Источник: [1].

Наибольшее применение в РФ получила резка на основе использования плазмы кислородсодержащего сжатого воздуха (воздушно-плазменная

резка). Области рационального использования сред указаны в табл. 2.

Таблица 2

Области применения рабочих сред при плазменной резке

Основная рабочая среда	Добавки	Области применения
Сжатый воздух (ГОСТ 17433-72)	-	Машинная и ручная резка углеродистых, низколегированных, коррозионностойких сталей, черновая резка цветных металлов
То же	Кислород (ГОСТ 5583-78)	Высокопроизводительная машинная резка сталей
>>	Вода (ГОСТ 2874-82)	Машинная резка сталей с уменьшением степени газонасыщения кромок
>>	Пропан-бутан (ГОСТ 20448-80) с водой или без	Высокопроизводительная машинная резка меди и резка сталей с улучшенным свойством кромок
Кислород (ГОСТ 5583-78)	-	Высокопроизводительная машинная резка сталей с уменьшением газонасыщения кромок
Аргон (ГОСТ 10157-79)	Водород (ГОСТ 3022-79) без добавок, с водой или водородом	Чистовая резка цветных металлов
Азот (ГОСТ 9293-74)	Водород (ГОСТ 3022-79) без добавок, с водой или водородом	Чистовая резка меди, ручная резка цветных металлов толщиной до 80 мм

Источник: [1].

Факторы, влияющие на выбор параметров режима плазменной резки

Технологический процесс плазменной резки включает в себя следующие операции: врезание (с кромки листа или, при необходимости, с пробивки исходного отверстия), резку прямолинейных и криволинейных участков заданного контура и завершение реза. Основной операцией является прямолинейная резка заготовок с вертикальными кромками.

В составе назначаемых режимов и условий резки указывают рабочую плазмообразующую

среду, рабочий ток, диаметр и длину сопла, расход рабочей среды, расстояние от рабочего торца плазмотрона до поверхности металла, а также рабочее напряжение дуги и скорость резки.

Ток I, напряжение U, тепловой к. п. д. η дуги, удельный вес γ, толщина δ, энтальпия плавления S разрезаемого металла, ширина реза b определяют скорость резки:

$$W = 0,24IU\eta/\gamma b\delta S(\text{см/с}) \quad (1)$$

При резке стали δ=1 см, γ=7,8 г/см³, S=13,06 кДж/г током I=300 А при U=180 В с η=0,3 и b=0,4

см $W=4$ см/с, или 2,4 м/мин. При резке в окислительных средах реакция окисления повышает скорость. При заданном режиме скорость резки можно регулировать (рис. 1).

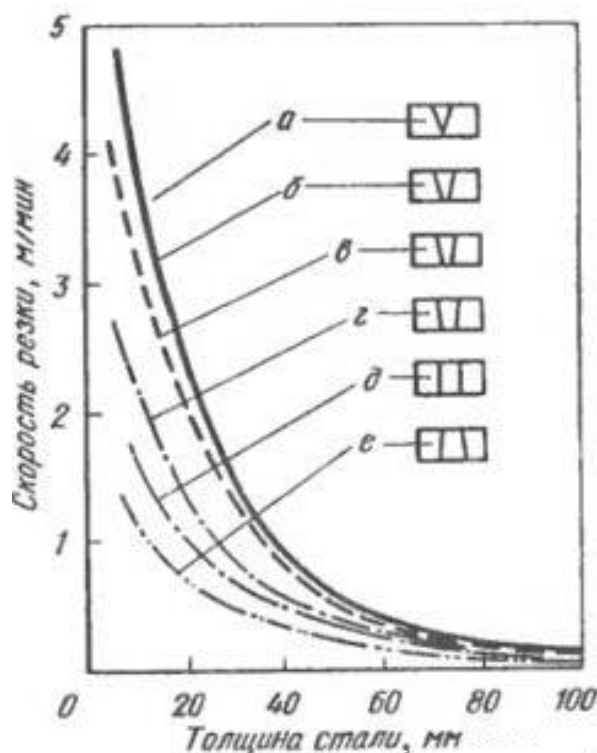


Рисунок 1. Влияние толщины металла на скорость плазменной резки (а-е обозначают форму реза)
 а — зона непрорезания; б — предельная скорость сквозного прорезания, неустойчивый рез со сходящимися кромками; в — высокая скорость резки, непараллельные кромки реза; г — ограниченная скорость резки, кромки реза близки к параллельным; скорости в зоне между г и д обеспечивают практическую кромок; е — скорости, при которых рез снова приобретает неустойчивую форму сечения, но расходящимися кромками: ниже е — зона неустойчивой, некачественной резки. Ориентировочные режимы: ток 300 А, расход воздуха 90-120 л/мин, диаметр сопла 3 мм.
 Источник: [1].

Максимально возможная скорость резки на прямолинейных участках ограничивается уровнем, выше которого не достигается сквозное резание металла (рис. 1, а). При скорости ниже этого уровня металл прорезается полностью (рис. 1, б), но качество резки характеризуется большой неперпендикулярностью кромок, шероховатостью поверхностей, большой глубиной литого участка зоны термического влияния и т. д.

С ограничением скорости резки (рис. 1, в, г) качество заготовок повышается, хотя затраты энергии

и материалов возрастают, производительность резки снижается. При скоростях резки ниже максимальных в 1,5—2,5 раза (рис. 1, д) кромки реза становятся параллельными между собой и перпендикулярными к поверхности листа, шероховатость становится минимальной и вырезаемая заготовка по большей части может быть использована без дополнительной механической обработки. При дальнейшем снижении скорости резки (рис. 1, е) процесс и качество заготовок теряют стабильность, что неприемлемо.

Таблица 3

Ориентировочные режимы воздушно-плазменной резки

Толщина металла, мм	Диаметр сопла, мм	Длина сопла, мм	Ток, А	Расход воздуха, л/мин	Скорость резки, м/мин		
					стали	алюминия	меди
5	2,5-2,8	3-4	200-260	80-100	4-6	4,5-5	1,7-3
10	2,5-2,8	3-4	250-290	80-100	1,9-3,6	2,4-4,2	1,1-2
15	2,5-2,8	3-4	250-325	80-100	1,2-3	1,6-3,5	0,65-1,6
20	2,5-3	3-4	270-325	80-100	1-2,3	1,3-3	0,45-1,2
40	2,8-3,7	4-7	300-400	100-120	0,6-0,9	0,9-1,2	0,3-0,6
60	3-3,7	4-7	350-400	100-135	0,3-0,4	0,4-0,6	0,1-0,3
100	4	6-8	400-450	135-140	0,1	0,1	-

Источник: [1]

Ориентировочные режимы и условия резки (для машинной прямолинейной резки) приведены в табл. 3. Скорость резки на криволинейных участках (с малыми радиусами кривизны) понижают на 30—50 % во избежание искажения формы кромок в результате отставания режущей струи (аналогично газопламенной кислородной резке). Аналогично снижают скорость резки при завершении реза с целью сквозного прорезания металла на концевом участке у нижних кромок.

Если резку начинают на поверхности листа, начальное отверстие в металле пробивают вне контура детали (на отходе). При механизированной резке пробивку производят в движении машины с приподниманием и последующим опусканием плазматрона. Пробивка производится при скорости движения машины меньшей против заданной в 1,5—2 раза.

Врезание с кромки металла или начального отверстия при толщине металла 20—30 мм не требует специальных приемов и регулировки скорости. Контроль полноты прорезания можно вести наблюдая за отклонением от вертикали факела режущей струи на выходе из листа. Вначале врезания ось и передняя граница факела отклоняются в сторону, противоположную резке, но при правильно установленной скорости передняя граница факела вскоре занимает вертикальное положение или близкое к нему. Такое положение в процессе резки свидетельствует о рациональной скорости. При слишком малой скорости факел ориентируется по вертикали, а его передняя граница неустойчива и отклоняется в направлении движения резака.

Тепловые модели плазменной резки

Учитывая определяющий характер тепловых явлений, для оценочных расчетов режимов резки

используют тепловые модели, созданные на основе теории теплопроводности. При этом не учитывается влияние газогидродинамических явлений в полости реза. Простейшей является одномерная модель резки с последовательным образованием отверстий и коэффициентом перекрытия. Для оценочных расчетов режимов резки применяются также модель линейного источника тепла в пластине. В параметрической форме основное ее уравнение имеет вид:

$$6,3/P = \ln(4,5/Y), \quad (2)$$

$$P = q/\delta a \gamma (cT_n + m); Y = V_{pb}/a \quad (3)$$

где:

P — параметры соответственно мощности и скорости; q — эффективная тепловая мощность луча, Вт; δ — толщина металла, м; a — коэффициент температуропроводности, м²/с; γ — плотность, кг/м³; c — удельная теплоемкость, Дж/(кг*К); T_n — температура плавления, К; m — скрытая теплота плавления, Дж/кг; V_p — скорость резки, м/с; b — ширина реза, м.

При $P \geq 10$ и $Y \geq 5$ выражение (2) преобразуется в уравнение $Y = 0,48 P$ для мощного быстро движущегося линейного источника тепла в пластине, при $P \leq 4$ и $Y \leq 1$ оно описывает предельное состояние теплового поля для линейного подвижного источника тепла. По (2) можно рассчитать скорость резки при заданной мощности излучения или требуемую мощность излучения при заданной толщине металла и скорости резки. В качестве примера рассчитаем минимальное значение q , требуемое для резки разных металлов толщиной 10–3 м при минимальной скорости резки $1,67 \cdot 10^{-3}$ м/с и $b = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Ниже приведены данные по разрезаемости разных металлов

Таблица 4

Таблица по разрезаемости разных металлов

Металл	Fe	Al	Ti	Ni	Cu	W	Mo
q , Вт, при резке в режиме:	119,4	248,6	54,5	214,1	520,9	666,7	467,5
плавления							
испарения	760,5	2748	312,6	1653,7	4393,4	6800,6	3660,6

Источник: [2].

Расчетные минимальные значения q характеризуют разрезаемость металлов в режиме плавления и испарения. При расчете q при резке в режиме испарения, согласно (3),

$$P = q/\delta a \gamma (cT_k + r), \quad (4)$$

где T_k — температура кипения металла; r — скрытая теплота испарения, Дж/кг. Значения q рассчитаны из условия, что теплофизические свойства металлов не зависят от температуры и агрегатного состояния. Для определения требуемой мощности лазера необходимо учесть поглощательную способность металла.

Комбинированная модель описывает нестационарный периодический характер разрушения верхней кромки металла на малой скорости резки с

помощью механизма образования отверстий и стационарное разрушение металла по всей его толщине при большой скорости резки. Используя эту модель, можно объяснить наличие на поверхности реза зон с разной шероховатостью, выполнить оценочные количественные расчеты скорости резки и шероховатости поверхности кромки. Но в модели не учитываются изменение плотности мощности излучения по толщине металла и газодинамическое воздействие на металл струи вспомогательного газа.

Физические явления, происходящие в зоне реза при плазменной резке

Характер физических явлений на передней поверхности реза определяется плотностью мощности светового потока. С повышением плотности

мощности растет температура передней поверхности реза и средняя скорость ее перемещения. По сравнению с традиционными источниками тепла, которые используются в процессах кислородной, плазменной и электронно-лучевой обработки, сфокусированный лазерный луч обеспечивает на один — полтора порядка более высокую плотность энергии, передаваемой аномально малой площади воздействия (рис. 5). Такой световой поток за доли секунды не только расплавляет, но и частично испаряет поверхность любого, даже самого тугоплавкого, материала. В процессе резки падающий на материал световой поток частично поглощается поверхностью материала, расплавленной

пленкой и боковыми поверхностями реза, частично отражается. При большой плотности энергии часть излучения поглощается образующимися продуктами разрушения материала, вследствие чего снижается эффективность резки. Поглощательная способность конкретного металла зависит от длины волны, поляризации и угла падения излучения на поверхность. Она увеличивается при расплавлении и окислении металла, при увеличении толщины металла и может достигать $\geq 80\%$. В литературе отсутствуют конкретные коэффициенты поглощения применительно к многообразным условиям резки.

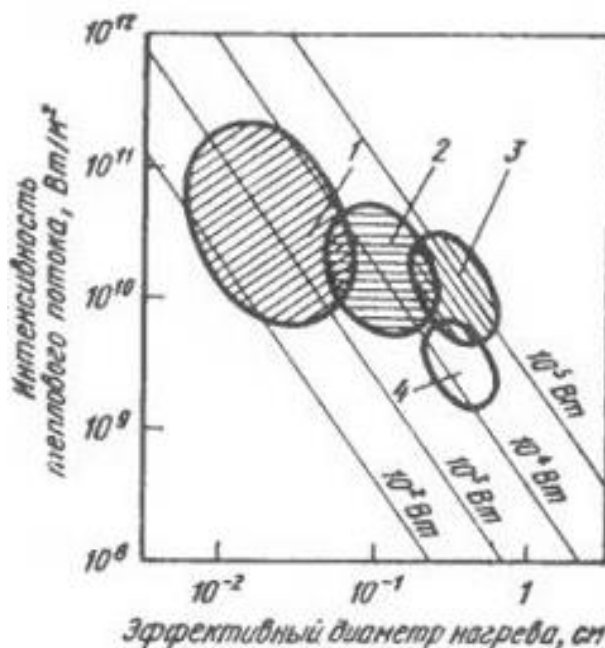


Рисунок 2. Энергетические параметры различных источников нагрева
1- лазерный; 2 – электронно-лучевой; 3 – плазменный; 4 – газоплазменный

Источник:[2].

Характер физических явлений в разрезе зависит от относительного энерговклада лазерного и химического тепловых источников. При высокой плотности мощности излучения резка идет с заметным испарением (сублимацией) материала, газ выполняет в основном функцию удаления из разреза продуктов разрушения. В этом случае скорость и качество резки определяются параметрами излучения. Если энерговклад химического источника сопоставим с лазерным или превышает его, то процесс резки идет в режиме плавления с экзотермическим окислением расплавленного металла на передней поверхности реза. В этом случае скорость и качество ниже и определяются параметрами химического источника тепла и процесс мало чем отличается от процесса кислородной резки стали.

При резке металлов механизм разрушения может быть стационарным, когда по всей длине канала реза существует ванна расплава, и нестационарным (неустановившимся), характеризующимся периодическим выносом расплавленного металла из полости реза. На практике имеет место нестационарный механизм.

Использование вспомогательного газа позволяет заметно снизить удельные затраты энергии излучения благодаря более интенсивному удалению из полости реза продуктов разрушения. При резке металлов применяют в основном кислород. На лобовой поверхности реза выделяется дополнительная теплота в результате окисления металла. Образуется оксидная пленка, которая значительно повышает коэффициент поглощения излучения. Применение импульсно-периодического излучения позволяет снизить удельные затраты энергии излучения, а также существенно повысить качество резки. Назначая определенные параметры излучения (пиковую мощность, форму, длительность и частоту следования импульсов) можно активно влиять на скорость резки, глубину зоны термического воздействия, толщину разрезаемого материала, количество грат на кромках. В литературе недостаточно внимания уделено теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса резки с использованием импульсно-периодического излучения.



Рисунок 3.Общий вид установки для плазменной резки

Источник:[2].



Рисунок 4. Вырезание кольцевой заготовки методом плазменной резки

Источник:[3].

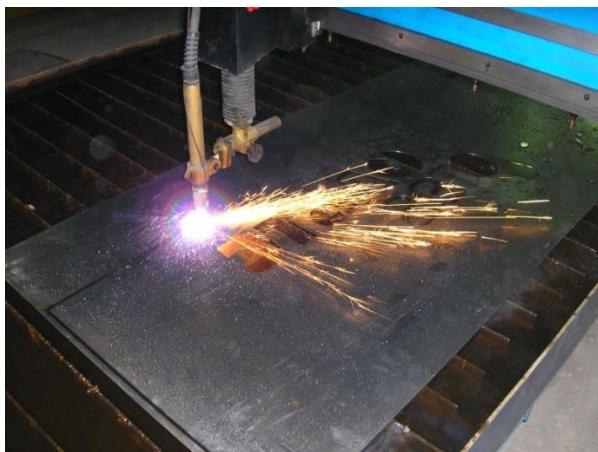


Рисунок5. Вырезание прямолинейных конфигураций заготовок методомплазменной резки

Источник:[4].

Физические основы лазерной резки

Лазерная резка, так же как и плазменная или газовая, является немеханическим способом раскроя металла, основанном на термическом воздействии. Лазерный луч, выпускаемый специальным оборудованием, направляется и концентрируется на заготовке, достигая размеров площади контакта всего в несколько микрон. При этом кристаллическая решетка разрезаемого материала разогревается до температуры плавления.

В то же время, площадь луча настолько мала, что вся заготовка во время обработки остается практически холодной, а линия реза отличается минимальной погрешностью в десятые доли миллиметра. В месте резки металл плавится и может одновременно выкипать (испаряться). Расстояние между поверхностью заготовки и рабочим органом оборудования, испускающим лазерный луч, должно быть не более нескольких сантиметров. Ла-

зером можно выполнять точные, аккуратные разрезы металлических заготовок небольшой толщины.



Рисунок 6. Фотография процесса лазерной резки при вырезании сложного профиля
Источник:[5].

Филигранность обработки настолько велика, что вышедшая из лазерной установки деталь обычно не нуждается в какой-либо завершающей обработке и может сразу использоваться или передаваться на последующий этап технологического процесса. Лазерным лучом можно не только резать

металл, но и фрезеровать, делать впадины, углубления заданного размера и многое другое. Только внутреннюю резьбу выполнить невозможно. Аппарат лазерной резки применяют и для гравировки. Процесс не требует использования сложного оборудования, мощность лазера не должна быть большой.



Рисунок 7. Фотография процесса вырезания цилиндрических заготовок лазерной резкой
Источник:[5].

Ниже приводятся сведения по теоретическим основам, технологическим процессам и оборудованию для лазерной резки материалов, которая из всех технологий лазерной обработки получила наиболее широкое промышленное применение. Рассмотрены физические явления в полости реза, модели для расчета основных технологических параметров процесса. Даны рекомендации по выбору режимов резки разных металлов и неметаллических материалов с использованием непрерывного и импульсно-периодического излучения промышленных лазеров. В последних разделах описываются конструктивные схемы машин, автоматизированных комплексов и роботов для резки плоских и про-

странственных заготовок, а также приводятся типичные примеры промышленного применения техники лазерной резки.

Схема процесса лазерной резки листового материала

Процесс лазерной резки (рис. 4) характеризуется одновременным воздействием на разрезаемый материал сфокусированного линзой или объективом лазерного излучения и вспомогательного газа, в результате которого образуется в материале узкий разрез. Синхронно перемещению лазерного резака по всей толщине обрабатываемого материала движется нагретая до определенной температуры наклонная поверхность разрушения (передняя поверхность реза), взаимодействующая с излучением.

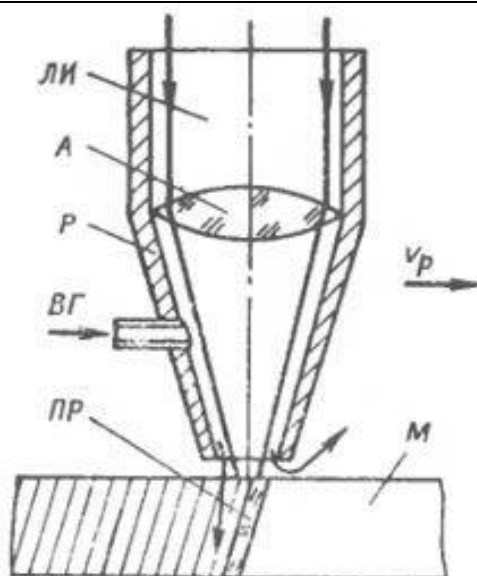


Рисунок 8. Схема процесса лазерной резки листового материала,
ЛИ – лазерное излучение; Л- линза; Р – резак; М – разрезаемый материал; ПР – поверхность разрушения; ВГ - вспомогательный газ.

Источник:[2].

Лазерная резка считается самой качественной и современной среди всех остальных вариантов раскроя металла. Этот новый способ позволяет выполнить разрез по заданным критериям. Лазером можно обрабатывать любые металлы, независимо от их теплопроводности.

Концентрация энергии, которую обеспечивает луч, настолько высока, что металл в месте резки плавится. При этом область термического воздействия настолько мала, что минимальна и деформация изготовленной детали. Благодаря этому лазерную резку возможно использовать в обработке нежестких металлов.



Рисунок 9. Фотография процесса лазерной резки тормозного диска велосипеда

Источник:[6].

Преимущества резки металлов лазером:

1. Заготовка не подвергается механическому воздействию – можно резать легкодеформируемые и хрупкие материалы.
2. Возможность работы с твердыми сплавами.
3. Высокая точность реза и идеально ровные края кромки, без заусениц, наплывов и иных дефектов.
4. Отсутствие потребности в последующей обработке изготовленных деталей.
5. Возможность вырезать детали любой формы, даже самой сложной.

6. Легкость управления лазерным оборудованием – достаточно в какой-либо чертежной программе подготовить рисунок будущего изделия и перенести его в компьютер установки для резки.

7. Высокая производительность (примерно в 10 раз быстрее, чем газовой горелкой).

8. Высокоскоростная обработка тонколистового проката.

9. Детали на листе металла можно разместить максимально компактно – высокая экономичность расхода материала.

10. Экономическая эффективность при изготовлении малых партий деталей, для которых делать формы для прессования или литья нецелесообразно.



Рисунок 10. Фотография процесса лазерной резки прямоугольных заготовок

Источник:[5].

Недостатки:

1. Высокая стоимость оборудования.
2. Низкая эффективность при работе со сплавами и металлами, обладающими высокими отражающими свойствами (к примеру, алюминий, нержавеющая сталь).
3. Максимальная толщина металла 20 мм.

Конструктивные особенности оборудования для лазерной резки металла

Оборудование для лазерной резки металла, как правило, состоит из ниже перечисленных основных узлов:

- излучателя;
- системы транспортировки и формирования излучения;
- системы формирования газа и его транспортировки;
- координатного устройства;
- системы автоматизированного управления (САУ).



Рисунок 11. Общий вид установки для лазерной резки

Источник:[5].

Излучатель генерирует лазерный пучок с требуемыми для резки, оптическими, мощностными и пространственно-временными характеристиками. Он состоит из:

- системы накачки;
- активного элемента;
- резонатора;
- устройства модуляции лазерного излучения (при необходимости).

В качестве излучателя в оборудовании для обработки металла используются газовые и твердотельные лазеры, функционирующие в непрерывном и импульсном режимах. Система транспортировки и формирования излучения передает, фокусирует и направляет пучок от излучателя на деталь, подвергаемую резке. Состав системы:

- юстировочный лазер;
- оптические объективы (трансформаторы);

- оптический затвор;
- устройство изменения плоскости поляризации;
- поворотные зеркала;
- система фокусировки;
- система стабилизации фокальной плоскости и величины зазора до детали.



Рисунок 12. Фотография процесса лазерной резки (вырезания отверстий в трубной заготовке)
Источник:[5].

Система формирования газа и его транспортировки подготавливает состав требуемых параметров и подает его через сопло в зону реза. Координатное устройство обеспечивает относительное перемещение детали и лазерного луча в пространстве. Включает в себя привод, двигатели, исполнительные механизмы. САУ предназначена для управления и контроля параметрами лазера, формирования и передачи команд на предусмотренные исполнительные модули систем формирования и транспортировки излучения и газа, а также координатного устройства. САУ состоит из:

- датчиков параметров функционирования лазера (давления, состава рабочей смеси, температуры и других);
- датчиков рабочих параметров излучения (стабильности оси направленности, расходимости, мощности и других);
- систем управления затвором и адаптивной оптикой;
- системы управления работой координатного устройства.

Лазерные установки для резки металла – принцип действия

Твердотельные лазерные установки для резки металла конструктивно более простые, в то же время, менее мощные, чем газовые. Величина этой характеристики для них составляет в среднем 1–6 кВт. Сердце излучателя твердотельного лазера – стержень (активный элемент) из алюмоиттриевого граната, рубина или неодимового стекла. Стержень непрерывно подвергается накачке (возбуждению) световым потоком от специальных мощных ламп. Система отражателей фокусирует лазерное излучение, резонатор его усиливает, луч передается через систему призм к головке, где происходит его окончательное формирование и подача на заготовку.

Управление всеми узлами оборудования происходит автоматически по заложенным в память станка программам.

В газовых лазерах активным элементом является углекислый газ, гелий или азот, закаченные в газоразрядную камеру. Возбуждение газа производится непрерывными электрическими импульсами высокой частоты. Такая конструкция позволяет при сравнительно небольших габаритах установки получать мощности 20 кВт и более, что необходимо для резки сверхпрочных сплавов.

Лазерная головка для резки металла, куда передается луч, обеспечивает его оптимальную стабильность при раскрое и резке, а также неизменность необходимого фокусного расстояния (даже при неровной поверхности металла). Заменой линзы головки можно менять толщину обрабатываемого материала (не на всех установках). Головка оснащена концентрическим соплом, через которое под давлением подается газ, выдувающий расплавленный материал из разреза и одновременно защищающий от продуктов обработки линзу. В области резки может быть предусмотрено дымоулавливание.

В случае обдува азотом луч расплавляет, а струя газа удаляет расплавленный металл из разреза. Азот используют, когда нежелательно окисление разрезаемого материала. Например, если подавать кислород при обработке нержавеющей стали, то ее сопротивляемость коррозии существенно понизится (для обработки нержавеющей стали пригоден только чистейший азот). Резка алюминиевых деталей в кислороде сопровождается образованием неровных, с заусенцами срезов. При обработке в азоте материал только плавится, но не испаряется и не горит. Температура резки ниже, чем с кислородом, но

и меньше скорость работы. Фокус луча обычно должен находиться у противоположной от источника излучения стороны листа.



Рисунок13. Фрагмент вырезания сложного профиля в стеклянной заготовке

Источник:[7].

При использовании кислорода температура резки выше, чем с другими газами. Как следствие, увеличивается скорость обработки и возможная толщина листа металла, который при некоторых условиях частично испаряется. Все это является следствием того, что кислород, попадая на поверхность раскаленного лазерным лучом металла, вступает с последним в реакцию окисления, которая сопровождается выделением тепла. Скорость резки тем выше, чем чище кислород. Для лазерной резки

могут использоваться и другие газы – выбор зависит от вида и толщины металла, предполагаемой последующей обработки.

Особенности создания макета для лазерной резки заготовок из листовой стали[8]

Итак, Вы собираетесь сделать макет изделия, которое хотите вырезать на лазерном станке. Как это сделать?

Допустим, Вы хотите изготовить партию номерков для гардероба.

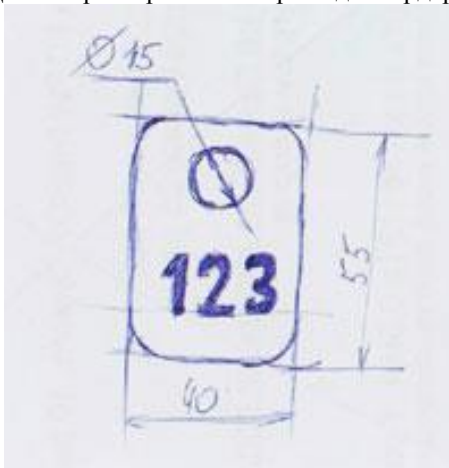


Рисунок14. Эскиз изделия (номерок для гардероба) для разработки раскройной карты лазерной резки

Источник:[8].

Для начала вам нужно представить, как будет выглядеть номерок, возможно даже нарисовать тех. эскиз. Пусть он будет выглядеть как на рисунке 1. Небольшой, прямоугольный, со скругленными уг-

лами, размером 4 на 5,5 см, с награвированным номером. Теперь можно приступить к макету в CorelDraw.

Сначала создадим саму форму номерка: это прямоугольник со скругленными краями и окружность для отверстия:

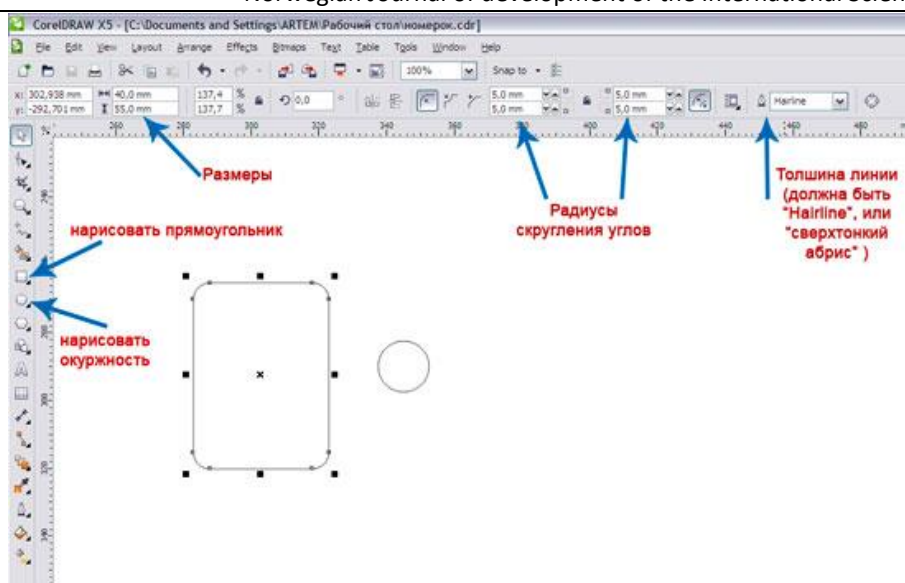


Рисунок 15. Пример создания формы изделия (номерок для гардероба)

Источник:[8].

Особое внимание: Толщина линии – Hairline, или «сверхтонкий абрис» в русифицированной версии. Заливки – нет. Цвет линии – черный.

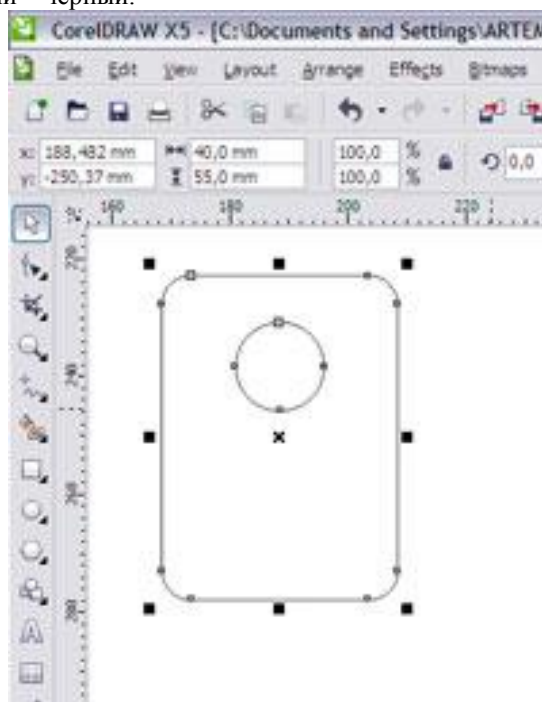


Рисунок 16. Вид контура эскиза изделия (номерок для гардероба)

Источник:[8].

Теперь перетащите окружность на прямоугольник, в то место, где должно быть отверстие. Чтобы выровнять отверстие по центру, выделите и прямоугольник и окружность, и нажмите латинскую клавишу «C» (или Arrange -> Align and Distributive -> Align center).

Теперь можно объединить все в одну кривую: выделите все и нажмите ctrl+L

Все. Макет номерка готов, и можно уже сохранять и резать, но нам еще нужно награвировать номер. Да и делать их по одному слишком долго.

Итак, номер:

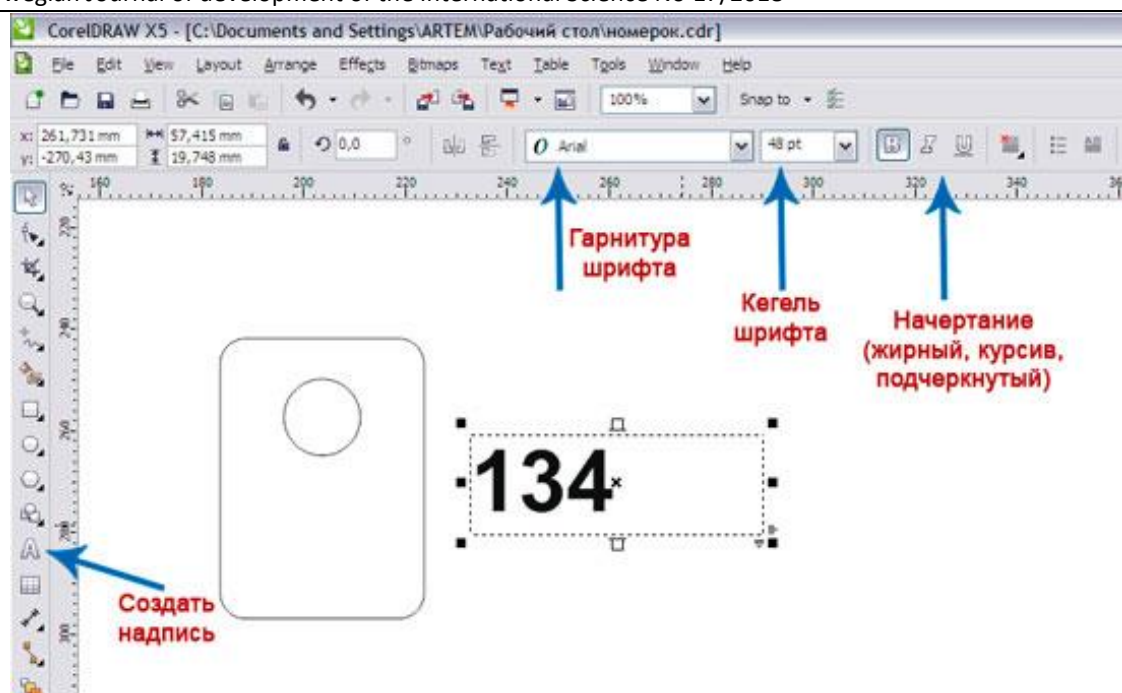


Рисунок 17. Пример создания номера на эскизе изделия (номерок для гардероба)

Источник:[8].

Создав номер нужного размера, разместите его на номерке.

Мы не планируем делать один номерок, нам нужно, допустим, 35. И делать их по одному –

слишком долго, проще сразу сделать макет на все 35 штук.

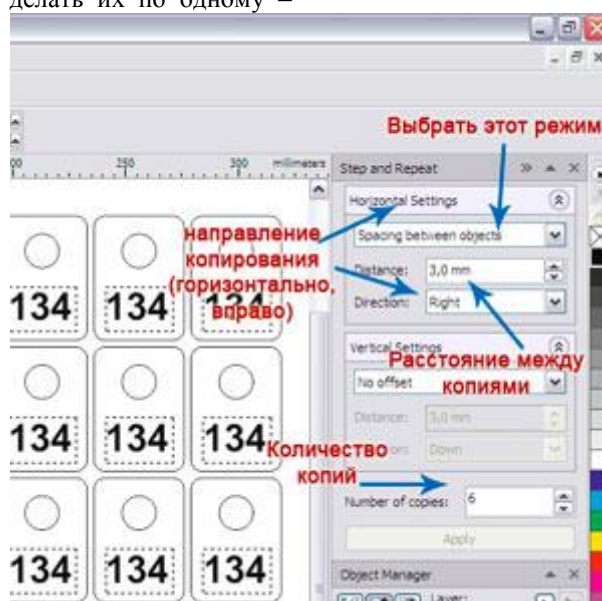


Рисунок 18. Пример создания макета из 35 изделий (номерки для гардероба)

Источник:[8].

И, конечно, можно вручную нарисовать все 35 штук, но проще скопировать наш номерок 34 раза, а еще проще воспользоваться функцией StepandRepeat (Edit->StepandRepeat или просто нажать ctrl+shift+D)

В появившемся докере (боковом окне) введите параметры копирования: сначала 6 копий по горизонтали, а затем получившуюся строку еще 4 раза скопировать вниз.

Теперь у нас есть 35 номерков с одинаковыми номерами. А нужны разные: от 1 до 35. Так что вручную меняем текст на всех номерках.

Особое внимание: минимальное расстояние между объектами зависит от материала, но в любом случае не должен быть менее 1-1,5 мм. Подробнее – во второй части, ниже.

Итак, теперь у нас есть макет номерков. Однако, этот макет не подходит для работы на лазерном станке, т.к. не отвечает ряду требований.

2. Подготовка макета для загрузки в лазерный станок. Условия для подготовки файлов в к лазерной резке и гравировке:

Файл должен состоять из кривых. Все числа у нас на номерках написаны шрифтами, и их необходимо перевести в кривые. Выберите все объекты рамкой и щелкните правой кнопкой - >Convert to Curves (или просто нажмите ctrl+Q).

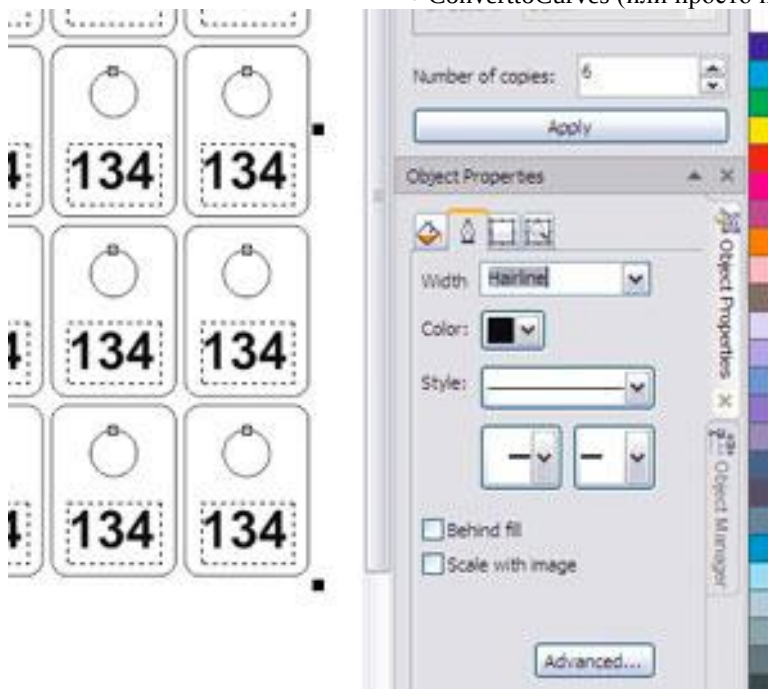


Рисунок 19. Пример создания кривых на макете

Источник:[8].

Толщина всех линий – Hairline (сверхтонкий абрис). Толщину линий можно поменять у каждого объекта вручную, но у нас их уже более ста, так что проще – через Object Properties. (Это – тоже докер, если он у вас не включен, то Window->Dockers->Properties или просто Alt+Enter). Выделите все объекты, щелкните на вкладку с пером, затем задайте толщину Hairline (см рисунок). Контур резки и контур гравировки должны быть выделены разными цветами, заливка везде прозрачная.

Нужно выделить все цифры и перекрасить их, например, в красный. Для этого: выделяем все числа на боковой панели цветом правой кнопкой ждем на красный – у чисел появится красный контур левой кнопкой ждем на прозрачный (в виде крестика) – все числа потеряют заливку. Особое внимание: Станок различает далеко не все цвета. Например, все оттенки серого для него – черный. Используйте основные цвета: черный, красный, синий, зеленый, желтый, сиреневый, циановый, оранжевый, белый.



Рисунок 20. Пример выбора цвета на макете

Источник:[8].

Минимальное расстояние между объектами. Ниже представлена таблица минимальных зазоров между деталями. Толщина материала Минимальный зазор менее 1 мм, ткани или бумага/картон 1,5 мм Менее 1 мм, пластик 2 – 2,5 мм 1-3 мм 3-4 мм 3-6 мм 4-4,5 мм Более 6 мм 5 мм и более Нарушение этих норм приведет к деформации края реза.

Также несколько важных правил:

В файле все линии не должны быть прозрачными. В файле должна быть одна страница, или все фигуры для резки должны быть размещены на первой. Все контуры должны быть замкнуты (если, конечно, это возможно) в случае с резкой, и они должны быть обязательно замкнуты в случае гравировки (гравировка незамкнутых линий может быть осуществлена только в виде резки не насквозь). Модель должна быть выполнена в масштабе 1:1, т.е. в

натуральную величину. Если вы планируете заказать гравировку, помните: минимальный размер символа текста – 1*1 мм. Если для Вас очень важна точность (например, при изготовлении сборных конструкций), учитывайте, что толщина луча составляет 0,1 мм, т.е. если в файле отверстие диаметром 5 мм, то на практике он выйдет 5,1 мм. Если все эти условия соблюдены – тогда файл готов к работе. Можно запустить резку прямо из Corel, предварительно установив специальный плагин, или же сохранить файл в формате .plt и загрузить его в специализированную программу LaserCut, идущую вместе со станком.

3. Мелкие хитрости. Как подготовить файл так, чтоб порезалось быстрее? На рисунке видны некоторые хитрости.

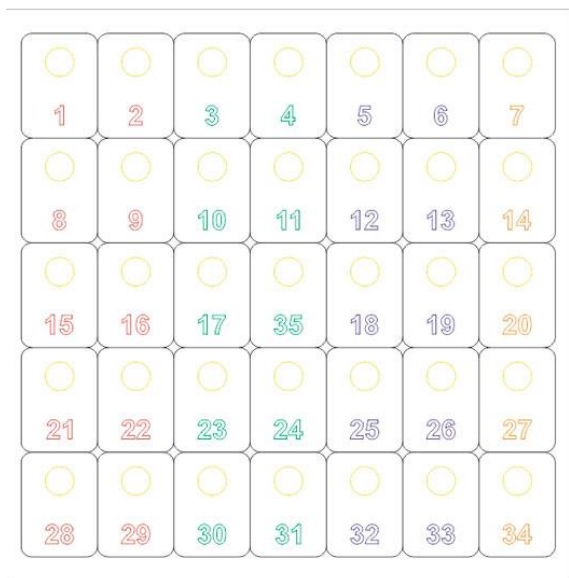


Рисунок 21. Вид макета состоящего из 35 изделий (номерки для гардероба)

Источник:[8].

Сращивание контуров. Детали могут соприкасаться вплотную и иметь общую стенку. Например, наши номерки. У номерка 9 общая стенка с четырьмя другими номерками, т.е. все его стенки можно удалить, оставив лишь скругленные углы. Такой подход уменьшает метраж реза почти на треть. И экономит материал. Цветовая градация гравировки. Лазерная гравировка делается построчно: головка проходит строку слева направо, а затем поднимается вверх и проходит следующую строку. Зачем же мы раскрасили цифры разными цветами? Чтобы укоротить строку. Ведь станок не начнет гравировать новый цвет, пока не закончит старый. Т.е. если залить их одним цветом, то головка будет проходить расстояние вдоль всего листа, а если сделать как на рисунке, то она сначала будет колебаться между первыми двумя столбцами номеров, потом – между третьим и четвертым, т.е.

расстояние между вторым и третьим проходить уже не будет. Такой подход может сократить время гравировки вдвое, а ведь гравировка может занимать до нескольких часов. Порядок резки разными цветами можно также пометать и фрагменты резки, что определить очередность резки. Например, у нас отверстия выделены желтым, и режутся отдельным циклом, сначала. Сделано это для того, чтобы исключить возможность брака: если сначала вырезать внешний контур, то номерок может вывалиться из листа и отверстие в нем уже не прорежется. Также разные цвета можно использовать, например, для разных настроек мощности резки: насквозь и не насквозь. Также различные цвета можно включать и выключать: сейчас мы режем красный, синий и желтый контур, а в следующий заход отключает красный и режем только синий и желтый.

Сравнительные показатели качества поверхностей заготовок при лазерной и плазменной резке

Показатель качества	Лазерная резка	Плазменная резка
Разрезаемый материал	металлы, пластики, дерево	Металлы
Конусность кромки	0...2°	0...10°
Минимальный диаметр отверстий	0,3...0,4 от толщины детали	0,9...1,4 от толщины детали
Шероховатость поверхности Ra, мкм	1,25...2,5	6,3...12,5
Окалина (грат)	минимально	отсутствует
Оплавление врезок, углов	минимально	присутствует
Максимальная толщина резки, мм	до 40 мм	до 150 мм

Источник:[9].

Приведенные в табл. 5 сведения подтверждаются представленными фотографиями образцов кольцевых заготовок. На рис. 22 показаны кольцевая заготовки, полученные плазменной резкой, где

наблюдается явно выраженная конусность кромки по наружному диаметру 9°. Отсутствие конусности кромки показана на рис. 23, где кольцевые заготовки получены лазерной резкой.



Рисунок 22. Пример кольцевых заготовок полученных плазменной резкой



Рисунок 23. Пример кольцевых заготовок полученных лазерной резкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Технология и выбор параметров режима плазменной резки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autowelding.ru/publ/1/plazmenno_dugovaja_rezka_metallov/tekhnologija_i_vybor_parametrov_rezhima_plazmennoj_rezki/20-1-0-221
2. Лазерная резка. Схема процесса, физические основы, модели лазерной резки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autowelding.ru/publ/1/gazolazernaja_rezka/lazernaja_rezka_skhema_processa_fizicheskie_osnovy_modeli_lazernoj_rezki/21-1-0-222
3. Технология плазменной резки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nerzhaveyka-spb.ru/plazmennaja-rezka-metalla/>
4. Услуги плазменной резки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.optoviki.kz/6472/goods/group-3940/10387/>
5. Оборудование для лазерной резки металла – современная обработка материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tutmet.ru/oborudovanie-ustanovki-golovka-lazernoj-rezki-metalla.html>
6. Krystle Richardson The Future of Lasers: What You Need to Know [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.machines4u.com.au/mag/the-future-of-lasers-what-you-need-to-know/>
7. Почему за услугой лазерной резки нужно обращаться в организацию «МосЛазер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arsvest.ru/rubr/4/39948>
8. Создание макета для лазерной резки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://samara.all-ready.ru/stati/stati-o-lazernyh-stankah/kak-podgotovit-fayl-v-coreldraw/amp>
9. Основы технологии лазерной резки металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wikimetall.ru/metallООbrabotka/lazernaya-rezka-metalla.html> (Дата обращения: 12.03.2018).

IMPLEMENTATION OF TRAFFIC MANAGEMENT MECHANISMS

Sinitsyn Yu.

*Ph.D., Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Protection,
Orenburg State University, Russia*

Vitkovsky N.

*Master's degree, 16IVT (m) REIVST,
Orenburg State University, Russia*

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ

Синицын Ю.И.

*к.т.н., доцент кафедры вычислительной техники и защиты информации,
Оренбургский государственный университет, Россия*

Витковский Н.Е.

магистр, 16ИВТ(м) РИВСТ, г. Оренбург, ОГУ, Россия

Abstract

The purpose of the work is to develop a scheme for the operation of the traffic management subsystem, which leads to a reduction in congestion in computer networks. Classification of means for monitoring and analyzing the state of computer networks is given and a structural diagram of the information flow management subsystem is presented.

Аннотация

Целью работы является разработка схемы функционирования подсистемы управления трафиком, что ведет к уменьшению перегрузок в компьютерных сетях. Дана классификация средств мониторинга и анализа состояния компьютерных сетей и представлена структурная схема подсистемы управления информационными потоками.

Keywords: Information flows, subsystem, management, computer network, traffic.

Ключевые слова: Информационные потоки, подсистема, управление, компьютерная сеть, трафик.

Классификацию средств мониторинга можно представить в виде нескольких групп, показанных на рисунке 1 [1].

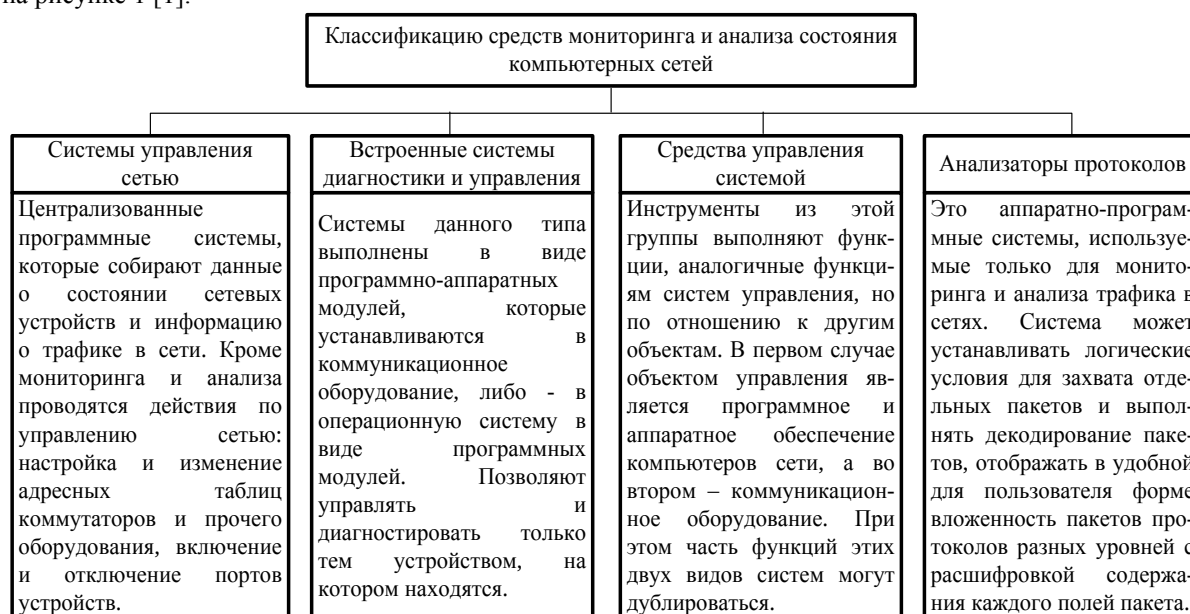


Рисунок 1. Классификация средств мониторинга и анализа состояния компьютерных сетей

Система управления информационным потоком – это совокупность взаимосвязанных элементов, которые могут изменять его состояние, параметры и характеристики. Некоторые методы управления информационным потоком можно представить в виде групп, показанных на рисунке 2 [1].

В задачи подсистемы управления информационным потоком входит:

- предоставление пользователю трафика такого качества, который бы его максимально удовлетворил;
- управление ресурсами компьютерной сети выполнялось бы на высоком уровне;

– в короткие сроки проводились бы мероприятия по уменьшению длительности состояния перегрузки компьютерной сети [2].

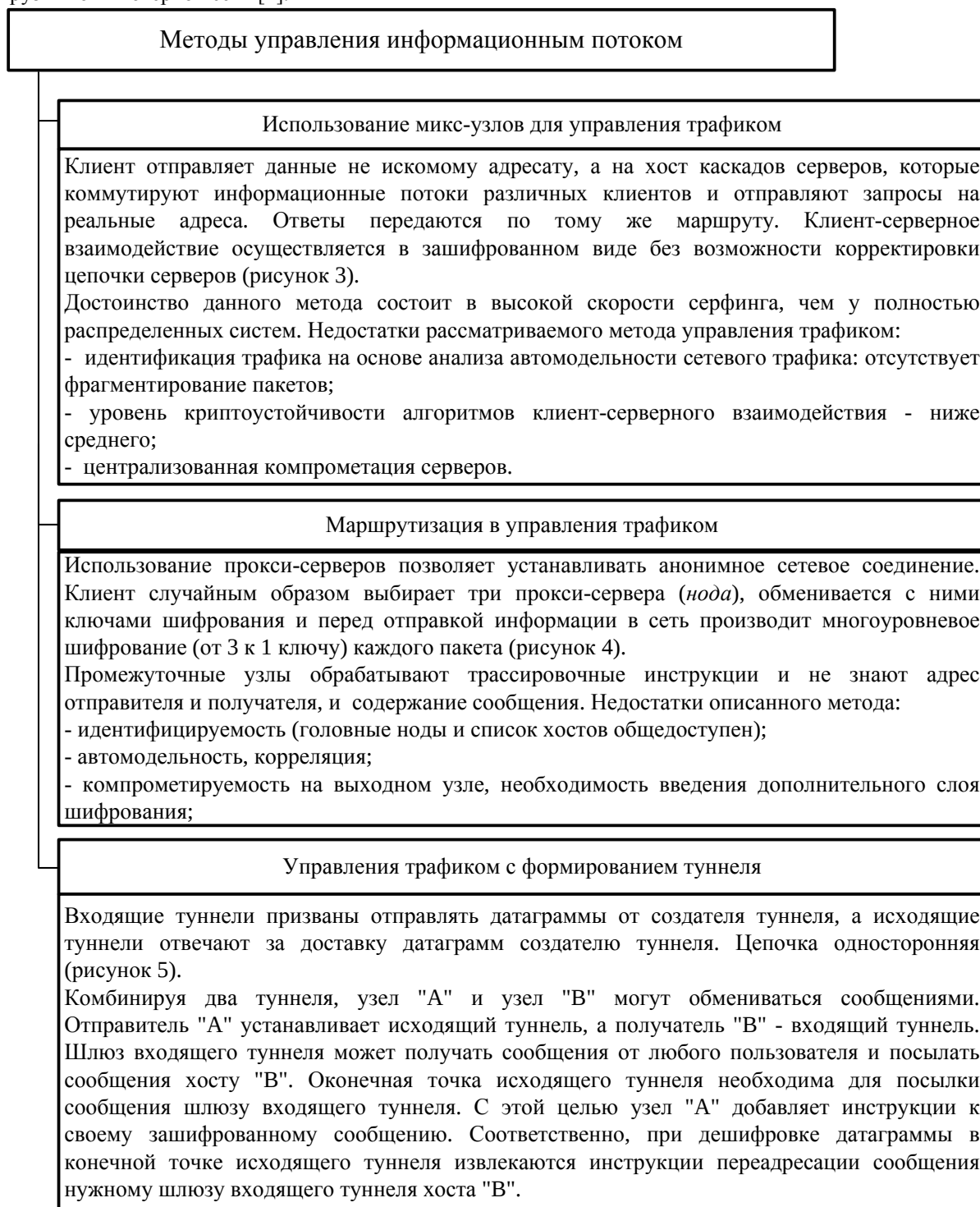


Рисунок 2. Методы управления информационным потоком

Общая схема системы управления информационными потоками показана на рисунке 3.

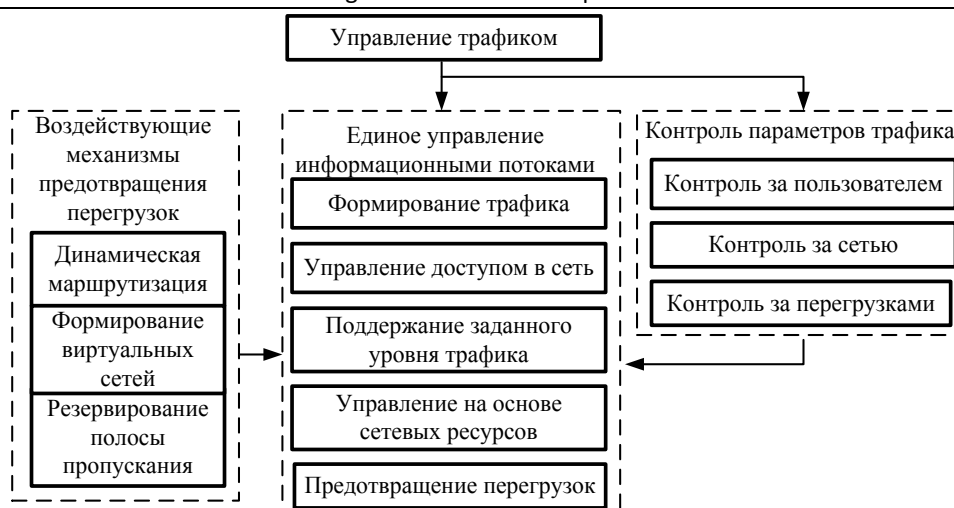


Рисунок 3. Общая схема системы управления информационными потоками

Подсистема управления пропускной способностью в компьютерной сети (КС) представляет собой набор правил и операций по организации приема-передачи пакетов на основе сетевого интерфейса. Подсистема управления использует алгоритмы, которые решают, какая скорость и какой пакет принимается на входящем интерфейсе и какие скоростные характеристики при передаче должны быть на выходящем интерфейсе.

Управление пропускной способностью КС может содержать алгоритмы удержания пакетов, изменение очередности отправки, изменение приоритета пакета. Очередность передачи может состоять из нескольких подочерей.

Можно так же отметить, что подсистема управления трафиком – это поток, соединяющий два хоста.

Определены шесть механизмов управления пропускной способностью, использующихся в КС:

- ограничение исходящего трафика (shaping);
- ограничение входящего трафика (policing);
- уничтожение (dropping);
- планирование (scheduling);
- классификация (classification);
- маркирование (marking).

Предлагаемый в статье метод организации подсистемы управления трафиком в канале передачи данных, основан на классах данных. Следовательно, определена задача разработки метода идентификации класса трафика механизма его управления.

На рисунке 4 показана структурная схема модуля управления пропускной способностью, состоящая из двух подмодулей – модуль идентификации трафика и модуль классификации и ограничения трафика, где показано движение трафика.



Рисунок 4. Модуль управления пропускной способностью

В модуле идентификации каждый тип данных получает свой идентификатор. Далее он поступает в модуль управления трафиком и где по полученной ранее метке обрабатывается соответствующим классом.

Работа модуля управления пропускной способностью показана на рисунке 5.

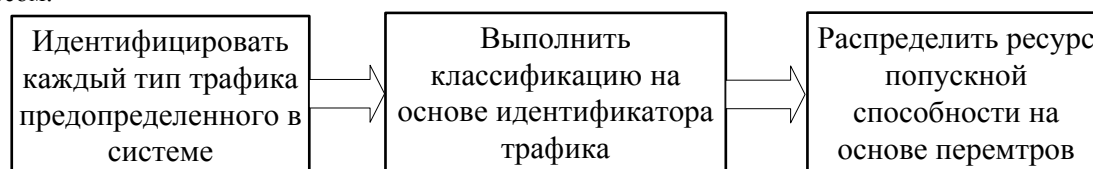


Рисунок 5. Структурная схема подсистемы управления пропускной способностью

Представленный в статье метод классификации говорит о том, что весь информационный поток будет полностью классифицирован. После того как данные были распознаны и им присвоен идентификатор, они поступают в класс, где определяется

приоритет, скорость передачи и т.д. Так же выполняются процедуры распределения пропускной способности канала связи и передачи трафика в КС.

Структурная схема решения задачи метода управления трафиком в КС показана на рисунке 6.

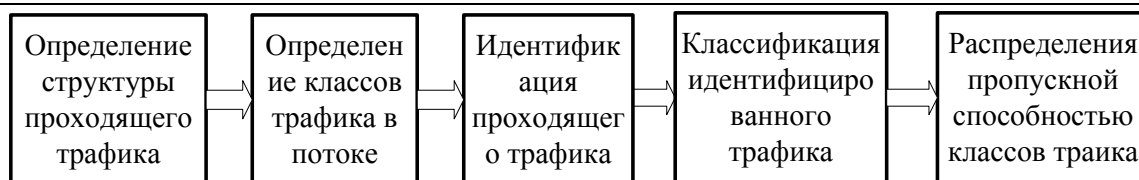


Рисунок 6. Функциональная схема задачи организации системы управления трафиком

Одним из этапов создания системы шейпинга трафика является идентификация типа проходящих

через него данных (с учетом предложенной классификации разбиения по типам). Идентификация проходящего трафика показана на рисунке 7.

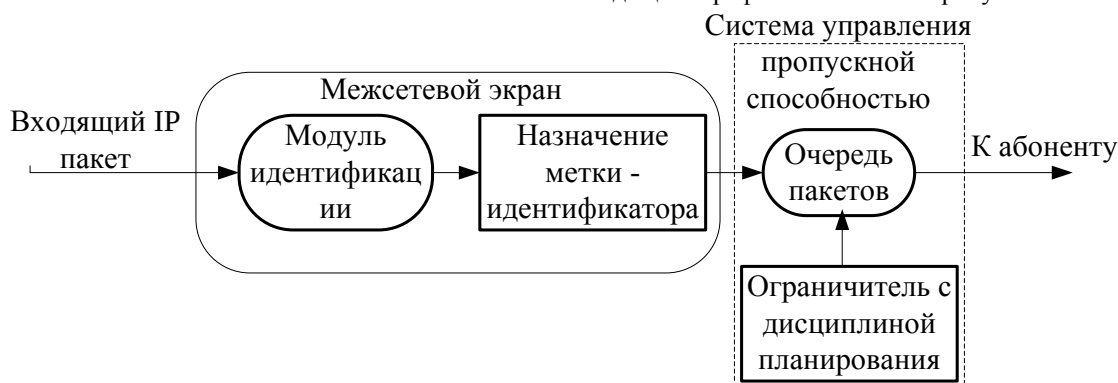


Рисунок 7. Структурная схема идентификации проходящего потока

Управление трафиком в компьютерной сети позволяет:

- исключить проведение ручной конфигурации сетевых устройств для задания определенных маршрутов;
- производить оценку полосы пропускания канала и значения трафика при прокладке маршрута через опорную сеть;
- при отказе узла производить коррекцию топологии опорной сети благодаря наличию механизмов динамической адаптации.

Заключение

Проведен сравнительный анализ нескольких подходов к управлению трафиком в компьютерной сети, построенных на базе технологии многопротокольной коммутации. Дана классификация средств мониторинга и анализа состояния компьютерных сетей и представлена структурная схема подсистемы управления информационными потоками.

Разработан модуль управления пропускной способностью компьютерной сети. Предложены структурные схемы идентификации проходящего потока и подсистемы управления пропускной способностью компьютерной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Витковский Н.Е., Сеницын Ю.И. Проблемы эффективного использования научного потенциала общества: сборник статей Международной научно - практической конференции (10 декабря 2017 г., г. Челябинск). В 5 ч. Ч.4 / - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – 229 с.
2. Витковский Н.Е., Сеницын Ю.И. Физико-математические и технические науки как постиндустриальный фундамент эволюции информационного общества: сборник статей Международной научно - практической конференции (15 декабря 2017 г., г. Уфа). - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – 245 с.

MONITORING SYSTEM OF THE NETWORK INFRASTRUCTURE OF THE MEDICAL INSTITUTION

Sinitsyn Yu.

Ph.D., Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Protection, Orenburg State University, Russia

Kunavin D.

Master's degree, 17IVT (m) REIVST, Orenburg State University, Russia

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Сеницын Ю.И.

к.т.н., доцент кафедры вычислительной техники и защиты информации, Оренбургский государственный университет, Россия

Кунавин Д.А.

магистр, 17ИВТ(м) РИВСТ, г. Оренбург, ОГУ, Россия

Abstract

Systems that produce automated collection of parameters from distributed objects of the information system are called monitoring systems, whose functions are the collection, archiving and processing of information using methods of expert analysis. The aim of the work is to develop an algorithm and model of the monitoring system, which is the interaction of software and thirdparty monitoring systems in the space of a single system.

Аннотация

Системы, производящие автоматизированный сбор параметров с распределенных объектов информационной системы, получили название систем мониторинга, функциями которого является сбор, архивирование и обработка информации с использованием методов экспертного анализа. Цель работы состоит в разработке алгоритма и модели системы мониторинга, представляющей собой взаимодействие программного обеспечения и сторонних систем мониторинга в пространстве единой системы.

Keywords: Monitoring, network infrastructure, management, computer network.

Ключевые слова: Мониторинг, сетевая инфраструктура, управление, компьютерная сеть.

Процедура контроля работы распределенной информационной структуры, как правило, делят на мониторинг и анализ. На этапе мониторинга выполняется процедура сбора первичных данных о работе информационной сети, статистики о количестве циркулирующих в сети кадров и пакетов различных протоколов, состоянии портов концентраторов, коммутаторов и маршрутизаторов и т. п. Этап анализа является наиболее сложным процессом, основанный на этапе мониторинга информации, сопоставления ее с данными, полученными ранее, и выработки предположений о возможных причинах замедленной или ненадежной работы информационной сети [1].

Задачи мониторинга решаются программными и аппаратными измерителями, тестерами, сетевыми анализаторами, встроенными средствами мониторинга коммуникационных устройств, а также агентами систем управления.

Задача анализа требует более активного участия человека и использования таких сложных средств, как экспертные системы, аккумулирующие практический опыт многих сетевых специалистов. Система мониторинга должна обладать следующими функциями, показанными на рисунке 1.



Рисунок 1. Функции системы мониторинга

Мониторинг узлов и элементов инфраструктуры распределенной информационной системы являются важными для любой структуры высокопроизводительных распределённых вычислений. С увеличением числа сетевых активных узлов в составе компьютерной сети, возрастает объём обрабатываемых и передаваемых данных, которые анализирует администратор и где растёт вероятность ошибки, полученная за счет человеческого фактора. К характеристикам, которые необходимо контролировать при мониторинге сетевой инфраструк-

туры, относятся ресурсы, к которым относится количество доступных процессоров, объем используемой памяти, пропускная способность, количество пользователей и т. п. Доступ к этим параметрам и характеристикам позволит в реальном времени и кратчайшие сроки оценить текущее состояние информационной системы, адекватно отреагировать на изменения этих параметров и своевременно найти причины неисправностей и сбоев [1].

При разработке системы мониторинга необходимо учитывать специфику параллельно работаю-

щих приложений, так как этот тип приложений ведет к загрузке процессоров, памяти, увеличения трафика и уменьшение производительности информационной сети.

Системы мониторинга состоят из нескольких структурных элементов, которые взаимодействуют

между собой и зависят от архитектуры системы мониторинга и способа её реализации. Программно-аппаратный комплекс системы мониторинга представляет собой трехуровневую модель, показанную на рисунке 2.

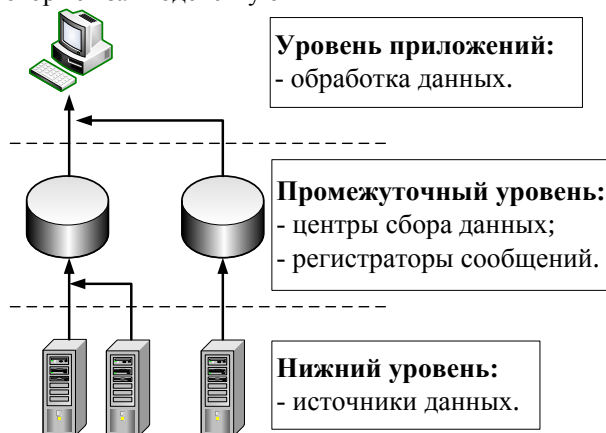


Рисунок 2. Трехуровневая модель системы мониторинга

Нижний уровень отвечает за сбор и представление данных, где источником этих данных может быть какой-либо сенсор физического или логического устройства.

Промежуточный уровень отвечает за сбор и преобразование данных с нескольких источников данных. Этот уровень выполнен на машинно-зависимых (или интерпретируемых) языках.

Уровень приложений отвечает за анализ и представление данных пользователю.

Трехуровневая модель позволяет формировать динамическую структуру данных, узлом которой может выступать любой определяемый источником данных программный или аппаратный элемент. Базовыми единицами хранения данных представлены значения переменных (целые числа, строки, числа с плавающей запятой и т. п.), которые отражают текущее состояние характеристики в узле.

Переменные могут быть как статическими (состав аппаратного обеспечения на узле, объем физической памяти), так и динамическими (время работы узла, количество операций за единицу времени и др.). Переменные могут иметь накопительную функцию и иметь возможность доступа ко всем параметрам информационной системы или одноразовые, хранящие текущее состояние системы.

При мониторинге распределенной вычислительной системы могут быть сформированы переменные распределенной вычислительной системы

(например, число активного коммутационного оборудования).

Сетевая архитектура в ГАУЗ «ГКБ им. Н. И. Пирогова» г. Оренбурга спроектирована с использованием Gigabit Ethernet. Сетевая архитектура Gigabit Ethernet реализована на основе двух стандартов:

- 1000Base-T – это стандартный интерфейс Gigabit Ethernet передачи по неэкранированной витой паре категории 5 и выше на расстояния до 100 метров. Для передачи используются все четыре пары медного кабеля, скорость передачи по одной паре 250 Мбит/с;

- 1000Base-LX – стандарт, использующий одномодовое или многомодовое оптическое волокно во втором окне прозрачности с длиной волны, равной 1310 нм. Дальность прохождения сигнала зависит только от типа используемых приемопередатчиков и, как правило, составляет для одномодового оптического волокна до 5 км и для многомодового оптического волокна до 550 метров.

В состав сетевой архитектуры структуры ГАУЗ «ГКБ им. Н. И. Пирогова» г. Оренбурга входят: Juniper ex4200-24f, D-link DGS 1210, ActiveDirectoryServer, ProxyServer, Juniper ex2200-48t-4g, D-Link DES-1026G, Juniper ex2200-24t-4g (рисунок 3).

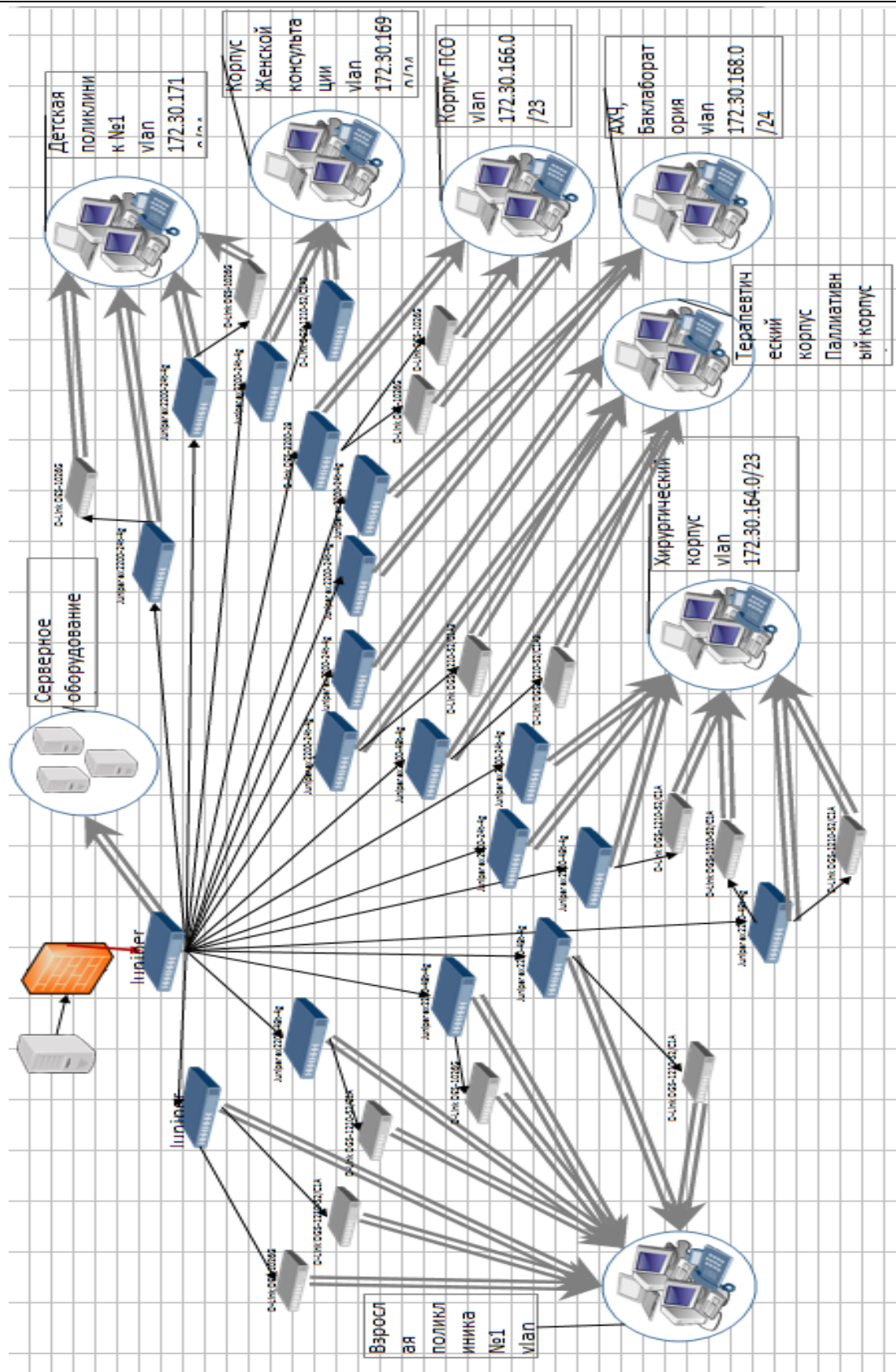


Рисунок 3. Сетевая архитектура ГАУЗ «ГКБ им. Н. И. Пирогова» г. Оренбурга

В таблице 1 показано назначение блоков схемы алгоритма мониторинга компьютерной сети.

Таблица 1

Назначение блоков в схеме алгоритма

Номер блока	Функция блока
1	Процедура опроса каждого узла сети командой ping
2	Процедура проверки маршрутов сети между крайними точками командой traceroute
3, 5	Условие-проверка недостижимых/недоступных устройств
4, 6	Условие-проверка выхода из цикла сканирования
1 - 6	Процедуры проверки удаленной доступности узлов
7	процедура авторизации на потенциально нефункционирующее устройство
8	Условие-проверка успешности авторизации
9	Процедура проверки работоспособности интерфейсов
10	Активация интерфейса в случае административного отключения интерфейса
11	Вывод сообщения при условии удаленной недоступности устройства
12	Условие-проверка функционирования всех интерфейсов
13	Условие-проверка вида недоступности интерфейса (административно или физически)
14	Вывод сообщения о физических проблемах канала связи данного интерфейса
15	Проверка раздела конфигурации protocols путем сравнения с образцом и проверки правильности настройки логики функционирования
16	Проверка раздела конфигурации routing-options путем сопоставления с образцом, выявления ошибочных маршрутов
17	Проверка раздела конфигурации policy-options путем сопоставления с образцом, проверки правильности функционирования логики настроенных фильтров
18	условие-проверка наличия ошибок конфигурации в вышеупомянутых разделах
19	Процедура внесения изменений в соответствии с обнаруженными несоответствиями

На рисунке 4 предложена схема алгоритма мониторинга компьютерной сети.

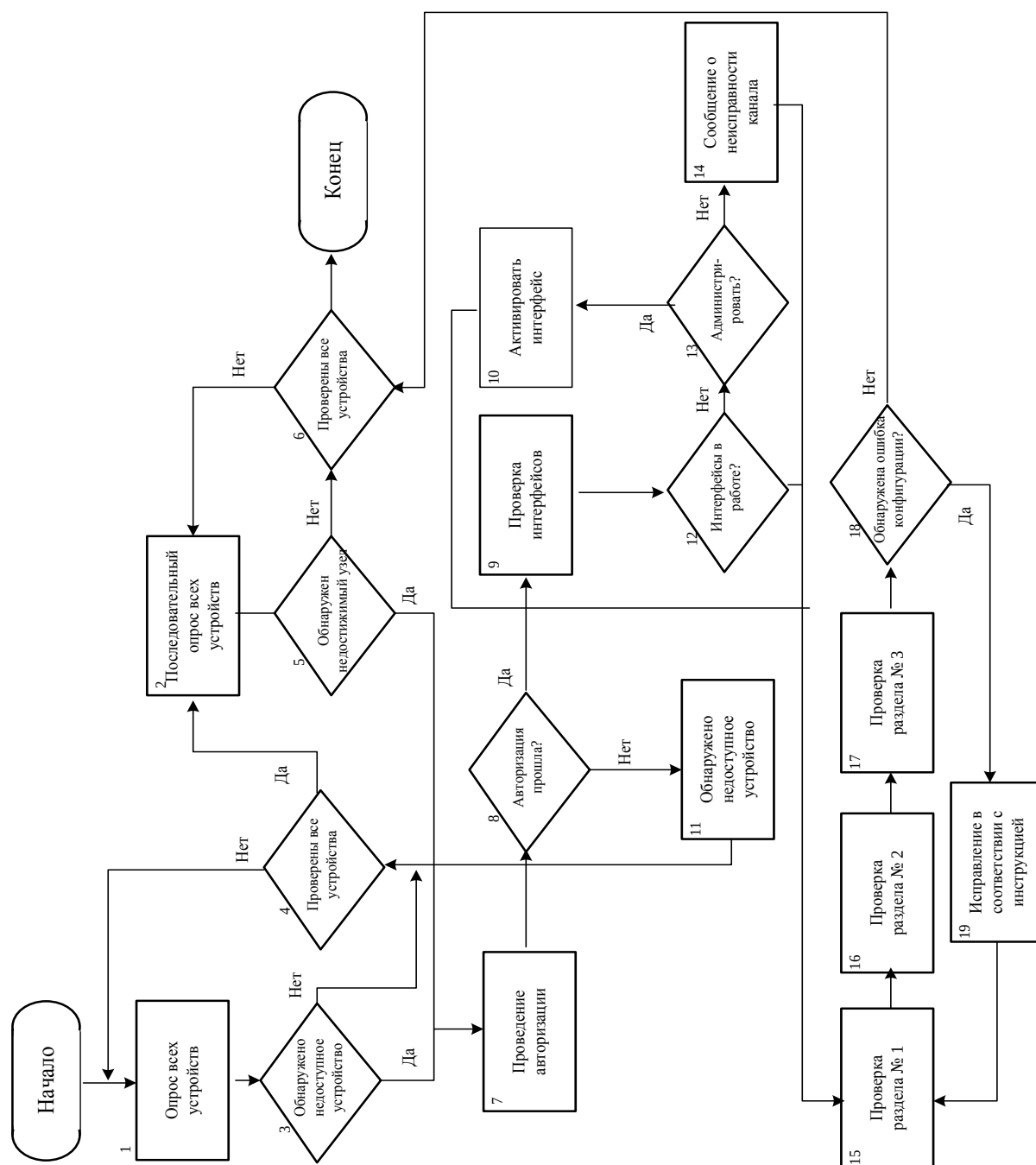


Рисунок 2. Схема алгоритм диагностики компьютерной сети

Программная архитектура – это комплекс важнейших решений организации программной системы. В больнице ГАУЗ «ГКБ им. Н. И. Пирогова» г. Оренбурга используются следующие операционные системы:

1. ОС Windows XP SP3 Pro.
2. ОС Windows 7 Pro.
3. ОС Windows 10 Pro.
4. ОС Windows Server 2012 R3.
5. ОС Windows Server 2003 R3.

Для управления документооборотом, делопроизводством, регистрацией входящей и исходящей корреспонденции, быстрого перевода документов в электронный вид используют систему Lotus Notes.

Для обеспечения безопасности используются криптографические шлюзы ViPNet Coordinator HW1000.

Для создания виртуальных машин на физическом сервере используется гипервизор Xen.

Xen - кроссплатформенный гипервизор.

Заключение

В заключении можно сказать, что предложены функции системы мониторинга и разработана модель системы мониторинга сетевой распределенной информационной инфраструктуры. Кроме этого дана сетевая архитектура компьютерной сети медицинского учреждения и предложена схема алгоритма мониторинга компьютерной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

3. Кунавин Д.А., Синицын Ю.И. Модель системы мониторинга сетевой распределенной информационной инфраструктуры. Физико-матема-

тические и технические науки как постиндустриальный фундамент эволюции информационного общества: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 декабря 2017 г., г. Уфа). - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – 245 с.

PROBLEMS OF NATURAL GAS USE FOR SOLID OXIDE FUEL CELLS

Smorodova O.

Cand. Sc., Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

Kitaev S.

Dr. Sc., Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

Erilin I.

Graduate Student, Ufa State Petroleum Technological University

К ПРОБЛЕМАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Смородова Ольга Викторовна

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Китаев Сергей Владимирович

*д-р техн. наук, доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Ерилин Иван Сергеевич

*магистрант кафедры «Промышленная теплоэнергетика»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Abstract

A structured classification of usage of natural gas in solid oxide fuel cells is proposed in this paper. In particular, the classification of heat-mass processes in SOFC powered by natural gas is proposed by analogy with a classification of thermodynamic systems. A search and an analysis of researches of natural gas use as fuel are conducted; solutions to revealed problems are provided.

Аннотация

Вниманию предлагается структурированная классификация твердооксидных топливных элементов на природном газе по методам использования топлива. В частности, предложена классификация ТОТЭ на природном газе по тепломассообменным процессам по аналогии с классификацией термодинамических систем. Проведен поиск и анализ исследований по применению природного газа в качестве топлива, описаны пути решения возникающих проблем.

Keywords: SOFC, natural gas, methane, reforming, classification.

Ключевые слова: ТОТЭ, природный газ, метан, риформинг, классификация.

Топливные элементы являются электрохимическими устройствами, напрямую преобразующими энергию топлива в электрическую энергию, минуя процесс горения. Именно это свойство определяет их преимущество по сравнению с традиционными топливными тепловыми двигателями.

Применение топливных элементов взамен тепловых двигателей приведет к увеличению эффективности производства электрической энергии в размере 10-20 % [1]. Другим важным преимуществом топливных элементов является их экологическая безопасность: в процессе производства электрической энергии выбросы парниковых газов будут или значительно снижены по сравнению с классическими методами сжигания топлива или, в

случае применения водорода, выбросы CO_2 будут равны нулю [2].

Химико-физические процессы, приводящие к возникновению электрического тока, различны для различных типов топливных элементов:

- PEMFC - с протонно-обменной мембраной;
- DMFC - прямые метанольные;
- SOFC - твердооксидные;
- PAFC - на основе фосфорной кислоты;
- MCFC - на расплаве карбоната;
- AFC - щелочные.

В работе представлена классификация топливных элементов (ТЭ), их характеристики и области применения (таблица 1, рисунок 1).

Классификация топливных элементов

Наименование параметра	DMFC	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
1	2	3	4	5	6	7
Рабочая температура, °C	20-90	80 - 100	50-200	180-210	600-700	650 (800) - 1200
Топливо	CH_3OH	H_2	H_2	H_2	H_2, CO_2	H_2, CH_4
Направление применения	Транспорт	Транспорт, энергетика	Транспорт	Энергетика	Энергетика	Энергетика

Исследования показали, что среди всех существующих на настоящий момент топливных элементов максимальная эффективность характерна для твердоотопливного устройства прямого получения электроэнергии.

Твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) характеризуется твердой электролитической средой. Одним из его основных особенностей относительно топливных элементов другого типа является высокая температура функционирования и возможность использования различных видов топлива: водород, природный газ, метанол и др.

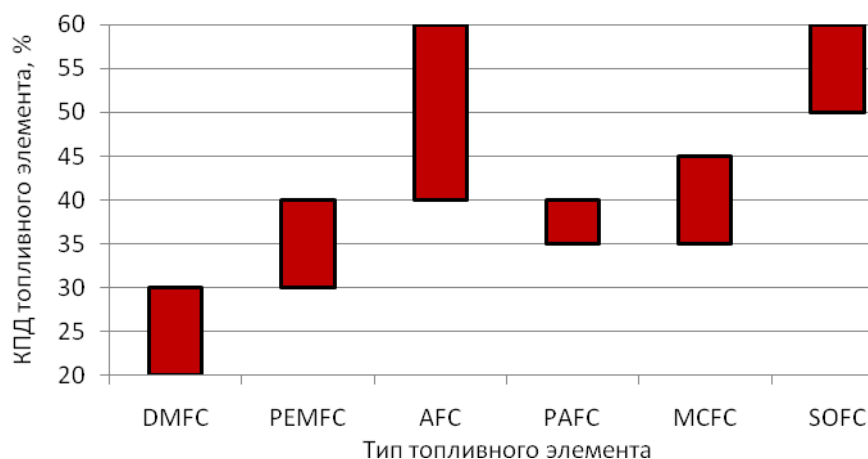


Рисунок 1 – Показатели энергетической эффективности топливных элементов

Благодаря своей доступности, природный газ является одним из наиболее перспективных топлив для твердооксидных топливных элементов. Россия находится на первой позиции по запасам природного газа, что открывает значительный потенциал использования ТОТЭ на природном газе. Метан, как основной компонент природного газа, в процессе своей выработки на ТОТЭ может быть использован в окислительно-восстановительной реакции с получением электрической энергии как напрямую, так и проходя через промежуточную ступень риформинга в синтез-газ.

В данной работе предлагается следующая классификация ТОТЭ на метановом топливе:

1) По тепломассообменным процессам: изолированный риформинг, закрытый риформинг, открытый.

При изолированном риформинге, риформер представляет из себя отдельный элемент системы (рисунок 2а), и сам процесс риформинга не сопровождается обменом теплом или веществом с топливным элементом.

Закрытый риформинг характеризуется протеканием реакции риформинга вне топливного элемента, так же, как и в изолированном случае, однако, происходит обмен тепловой энергией между риформером и ТОТЭ (рисунок 2б).

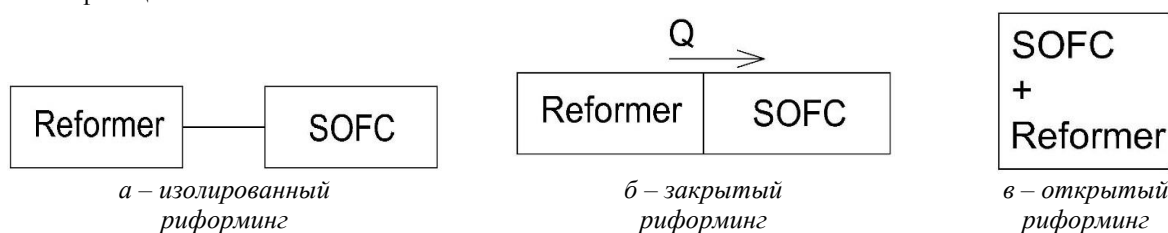
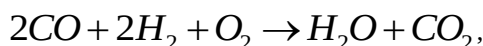
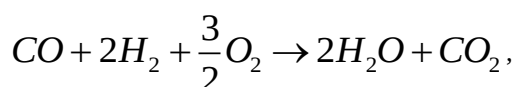
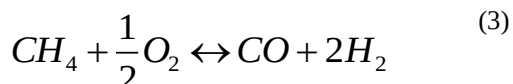
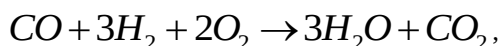
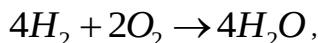
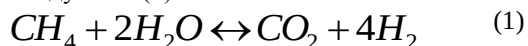


Рисунок 2 – Структурная схема тепломассообменных процессов в ТОТЭ

Открытый процесс характеризуется полной выработкой метана внутри топливного элемента (рисунок 2в). При данном типе конструкции использование метана может происходить как с промежуточной стадией риформинга, так и без неё (прямой процесс)

2) *По типу реакции*: водо-воздушная с избытком водяного пара (1), водо-воздушная с недостатком водяного пара (2), воздушная (3), (4), углекислотно-воздушная (5).



Существует большое количество работ, описывающих потенциал процесса прямого использования метана в топливном элементе для производства электрической энергии. В данном случае не происходит усложнения конструкции ТОТЭ дополнительными системами риформинга, что сказывается на относительно невысокой стоимости системы. Кроме того, прямое использование метана приводит к большей энергетической эффективности ТОТЭ и более высокому напряжению разомкнутой цепи [3]. Однако метан может вызвать отложения на никелевом аноде и его необратимую деактивацию (реакции (6), (7)).



Анод из Ni/YSZ является катализатором образования углерода, кроме того, температура анода в диапазоне 600-800 °C является наиболее благоприятным условием для осаждения аморфного углерода [4].

В зависимости от температуры, образование углерода может происходить преимущественно по формулам (6) или (7). Предпринимались попытки создания анода из других материалов для избегания оседания углерода: Cu-Ce, Cu-Ni, перовскит $CaTiO_3$, однако при замене Ni/YSZ на другие материалы возникают проблемы совместимости материалов по температурному расширению и более низкой энергетической эффективности [3]. В [5] были описаны проведенные исследования нового материала для анода $Sr(Ti,Fe)O_3$ взамен Ni/YSZ, данный материал показал сравнимую с Ni/YSZ анодом эффективность.

Для предотвращения образования сажи применяют паровой риформинг метана, то есть процесс получения электроэнергии в ТОТЭ будет протекать по реакциям (1), (2). Процесс (2) дает больший выход водорода, чем (1), что приводит к повышению эффективности, однако в этом случае все еще достаточно высока вероятность образования углерода, поэтому процесс парового риформинга обычно проводят с избытком водяного пара (1) [6].

В [7] отмечается, что использование Ni-GDC анода для риформинга с отношением количества молей водяного пара к количеству молей метана $<1,5$ не приводит к значительному осаждению углерода.

Так как ТОТЭ работают при высоких температурах, энергия, необходимая для риформинга метана, может быть получена непосредственно из ТОТЭ, что создает условия для открытого и закрытого риформинга. Также применение риформинга внутри ТОТЭ снижает необходимость во внешнем охладителе. Одним из основных недостатков открытого риформинга является резкий температурный градиент по топливному элементу вследствие сильного эндотермического выхода при начальном риформинге метана и экзотермической реакции при окислительной реакции синтез-газа. Это приводит к напряжениям материала, которые могут привести к нарушению структуры топливного элемента [8]. Несмотря на высокую устойчивость метанового риформинга с избытком водяного пара к осаждению углерода, вероятность образования отложений на аноде все же сохраняется на высоком уровне в случае недостаточной подачи окислителя или водяного пара [3; 6; 8].

Применение закрытого и изолированного риформинга позволяет решить проблемы температурного напряжения и осаждения углерода в самом топливном элементе, однако в этом случае усложняется общая конструкция и увеличивается стоимость системы. Кроме того, для проведения реакции в случае изолированного риформинга требуется подвод энергии от внешнего источника, что сказывается на общей эффективности процесса.

Одной из основных проблем использования природного газа для ТОТЭ является присутствие в нем сероводорода, вызывающего резкое снижение выходной мощности топливного элемента уже при концентрациях H_2S на уровне 1 ppm [9]. Также присутствие сероводорода в целом повышает сопротивление анода. Хотя влияние сероводорода на работу топливного элемента изучено недостаточно, наблюдающиеся негативные явления обычно объясняются хемосорбцией серы на активной поверхности анода, что приводит к ингибированию протекания реакции окисления водорода.

Было проведено большое количество исследований по изучению влияния примесей сероводорода в природном газе на работу Ni/YSZ анода. Известно, что с увеличением концентрации сероводорода, плотность генерируемого тока падает. Более того, наибольшее падение происходит в первые несколько часов после начала взаимодействия анода с

H₂S [9]. Однако при концентрации сероводорода не более 100 ppm возможно практически полное восстановление эффективности ТОТЭ после удаления примесей сероводорода из топлива [9; 10; 11].

Для возможности удаления примесей сероводорода из топлива активно развиваются методы очистки. Существуют биологические и физико-химические методы очистки газа. Биологические методы являются эффективными, однако сами биологические системы чувствительны к изменениям концентрации сероводорода [1].

Выводы.

Показано, что топливные элементы являются перспективной альтернативой традиционным тепловым двигателям благодаря ведению прямого преобразования топлива в электроэнергию с исключением процесса горения топлива.

Основными проблемами, тормозящими глобальное применение ТОТЭ на природном газе, являются следующие:

— проблема осаждения аморфного углерода на аноде и его последующая деактивация;

— проблема значительного падения генерируемой мощности при наличии сероводорода в топливе.

Данные задачи могут быть решены путем применения стойких к углеродной и сероводородной деградации материалов для анода, усовершенствованием системы риформинга метана и развитием системы очистки топлива от сероводородных включений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. C. Weinlaender, R. Neubauer, C. Hochenauer. Low-temperature H₂S removal for solid oxide fuel cell application with metal oxide adsorbents// Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Austria, 2017.
2. M.A. Mac Kinnon, J. Brouwer, S. Samuelsen. The role of natural gas and its infrastructure in mitigating greenhouse gas emissions, improving regional air quality, and renewable resource integration// Progress in Energy and Combustion Science. 2018. Pp. 62-93.

3. Chang-Yin Chien. Methane and solid carbon based solid oxide fuel cells // A Dissertation in partial fulfillment of the Requirement for the Degree Doctor of Philosophy. 2011. May.

4. A. Lanzini, P. Leone, C. Guerra, F. Smeacetto, N.P. Brandon, M. Santarelli. Durability of anode supported Solid Oxides Fuel Cells (SOFC) under direct dry-reforming of methane // Chemical Engineering Journal. 2013. Pp. 254-263.

5. Tenglong Zhu, Horacio E. Troiani, Liliana V. Moggi, Minfang Han, Scott A. Barnett. Ni-Substituted Sr(Ti,Fe)O₃ SOFC Anodes: Achieving High Performance via Metal Alloy Nanoparticle Exsolution // Joule Journal. 2018. March.

6. Волкова Ю.В. Разработка адаптированной к инженерной практике методики расчета энергетических характеристик установок с твердооксидными топливными элементами // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург. 2016.

7. A.Thallam Thattai, L. van Biert, P.V. Aravind. On direct internal methane steam reforming kinetics in operating solid oxide fuel cells with nickel-ceria anodes // Journal of Power Sources. 2017. October.

8. K. Tseronis, I.S. Fragkopoulou, I. Bonis, and C. Theodoropoulos. Detailed Multi-dimensional Modeling of Direct Internal Reforming Solid Oxide Fuel Cells // 2016. Jun.

9. M. Riegraf, G. Schiller, R. Costa, K.A. Friedrich, A. Latz, V. Yurkiv. Lifetime and Performance Prediction of SOFC Anodes Operated with Trace Amounts of Hydrogen Sulfide // German Aerospace Centre, Institute of Engineering Thermodynamics. 2015.

10. Ting Shuai Li, Wei Guo Wang, Tao Chen, He Miao, Cheng Xu. Hydrogen sulfide poisoning in solid oxide fuel cells under accelerated testing conditions/ Journal of Power Sources. 2011. May.

11. M. Riegraf, V. Yurkiv, R. Costa, G. Schiller, K.A. Friedrich. Evaluation of the effect of sulfur on the performance of Ni/CGP-based solid oxide fuel cell (SOFC) anodes// German Aerospace Centre, Institute of Engineering Thermodynamics. 2016.

THE HEAT ADJUSTMENT METHODS COMPARATIVE ANALYSIS

Smorodova O.

Cand. Sc., Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

Kitaev S.

Dr. Sc., Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

Useev N.

Graduate Student, Ufa State Petroleum Technological University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Смородова О.В.

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Китаев С.В.

*д-р техн. наук, доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Усеев Н.Ф.

*магистрант кафедры «Промышленная теплоэнергетика»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет***Abstract**

The article describes the existing design and technological solutions for the construction of distribution heat networks, which involve the use of three main methods of regulation this is a qualitative method based on the variation of the temperature of the network coolant, a quantitative method based on the variation of the flow of the heat carrier, and a combined qualitative and quantitative method using regulation Both temperature and flow rate of the coolant.

Аннотация

В статье описываются существующие конструктивно- технологические решения построения распределительных тепловых сетей, предполагающие использование трех основных методов регулирования - это качественный метод, основанный на варьировании температуры сетевого теплоносителя, количественный метод, основанный на варьировании расхода сетевого теплоносителя, и совмещенный качественно-количественный метод, использующий регулирование как температуры, так и расхода теплоносителя.

Keywords: heat carrier; temperature; flow; heat energy; heat network; regulation; heat release; heat consumer; heat source.

Ключевые слова: теплоноситель; температура; расход; тепловая энергия; тепловая сеть; регулирование; отпуск теплоты; тепловой потребитель; теплоисточник.

Вплоть до последнего времени, в России рекомендовался качественный метод регулирования систем теплоснабжения, основным критерием для которого являлось значение температуры наружного воздуха. Соответственно, распределительные сети проектировались с расчетом на использование данного метода регулирования, при этом реализация других методов без внесения изменений в схемы сетей и оборудование существенно снижает эффективность регулирующих воздействий

В течение последних двух десятилетий значительно расширился перечень видов теплоизоляционных изделий для теплопроводов [2], типов используемых отопительных приборов абонентов и

увеличилось количество конечных потребителей с индивидуальным регулированием. Это оказало существенное влияние на режимы функционирования как внутридомовых абонентских тепловых сетей, так и распределительных сетей в целом. Представляется очевидным, что в таких условиях разработанные ранее методы и технологические приемы регулирования совмещенной тепловой нагрузки характеризуются снижением эффективности, и, соответственно, возникает задача их оптимизации. Особенно это актуально с учетом выработки огромного количества тепловой энергии за 2016 год (в период 01.01.2016-01.04.2016 было выработано тепловой энергии 239 млн. Гкал [4]).

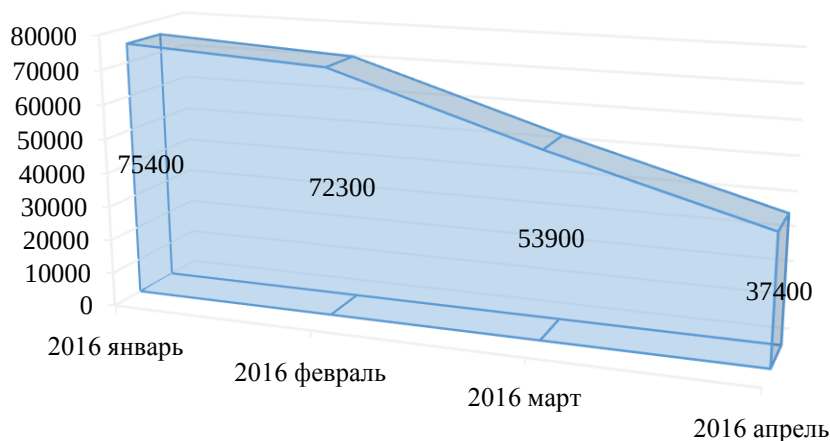


Рисунок 1 - Статистика выработки тепловой энергии, Россия, 2016 г.

В целом регулирование отпуска тепловой энергии может осуществляться тремя способами [3]:

1) качественным - заключающимся в регулировании отпуска тепловой энергии путем изменения температуры теплоносителя на входе в прибор при сохранении постоянным количества расхода теплоносителя, подаваемого в регулируемую установку;

2) количественным, заключающимся в регулировании отпуска теплоты путем изменения расхода теплоносителя при постоянной температуре на входе в регулируемую установку;

3) качественно-количественным, заключающимся в регулировании отпуска теплоты путем одновременного изменения расхода и температуры теплоносителя.

Качественный метод регулирования тепловой нагрузки, особенно в случае ее совмещенного характера, является, с одной стороны, наиболее простым в реализации, поскольку в полной мере реализуется без использования дополнительного оборудования в любой системе - посредством регулирования режима работы котла. Данный метод является наиболее дешевым в реализации и наиболее надежным в эксплуатации.

Основным допущением является регулирование тепловой нагрузки по средней температуре наружного воздуха, что приводит в некоторых случаях к возникновению существенных различий в режиме отопления у разных категорий потребителей. Вторым допущением является усредненный расчетный режим работы сетей, поскольку учет дополнительной нагрузки от систем горячего водоснабжения (ГВС) осуществляется исключительно по суточным графикам, без учета фактической неравномерности и объема отпуска тепла.

К основным недостаткам качественного метода регулирования теплоснабжения следует отнести неоптимальные характеристики по тепловой инерции. Любая разветвленная и протяженная система теплоснабжения имеет значительную тепловую инерцию, поскольку время движения теплоносителя от момента его выхода от источника централизованного теплоснабжения через наиболее удаленного потребителя до момента возврата в источник теплоснабжения по обратной трубе представляет собой конечную величину, которая может достигать нескольких часов. Поэтому при качественном регулировании подача теплоты регулируется либо по среднесуточной, либо по усредненной за несколько (8 - 12) часов температуре наружного воздуха. Такое временное рассогласование или регулирование с запаздыванием ведет к нарушению теплового режима у потребителей, особенно при резкой смене погодных условий [1].

Кроме того, при эксплуатации сетей с совмещенной нагрузкой наблюдаются значительные перепады рабочих режимов, обусловленные скачкообразной неравномерностью спроса абонентов на горячее водоснабжение в рамках суточного графика. Данный фактор оказывает существенное влияние на параметры теплоносителя в магистральных,

при этом, в большинстве случаев, значение ключевого параметра - температуры воздуха в отапливаемых помещениях - поддерживается только за счет инерционных характеристик отопительных приборов и тепловой инерции ограждающих конструкций.

Эффективность централизованного качественного регулирования теплоснабжения существенно снижается при наличии абонентских и индивидуальных систем регулирования. Даже в краткосрочной перспективе количество таких систем будет значительно увеличиваться, в связи с чем проблема оптимизации данного метода значительно усложняется.

Основным преимуществом метода количественного регулирования совмещенной тепловой нагрузки является возможность оперативных воздействий на регулируемые показатели. В сравнении с качественным методом, эффект от количественного регулирования сопоставим со скоростью распространения звука в воде (1500 м/с), ввиду чего эффективность оперативного регулирования параметров температуры в отапливаемых помещениях потенциально имеет большие показатели быстрого действия.

Негативным фактором постоянства температуры теплоносителя в тепловой сети является потенциально возможное увеличение тепловых потерь.

При использовании количественного метода регулирования совмещенной тепловой нагрузки, основными методами оптимизации являются, в первую очередь, повышение эффективности регулирования за счет более высокой точности прогнозирования и предопределения параметров функционирования каждого элемента сетей [4]. Здесь могут быть использованы новые математические модели, отличающиеся более высокой точностью расчета параметров теплоносителя, использование которых ранее было нецелесообразно ввиду значительных системных требований к математическому обеспечению.

Следует отметить, что очень важным фактором при предопределении параметров теплоносителя является учет не только параметров тепловой инерции сетевого оборудования, но также и параметров тепловой инерции зданий, что оказывает существенное влияние на основной регулируемый показатель - температуру воздуха в отапливаемых помещениях.

Также оптимизация количественного метода предполагает реализацию механизмов точного регулирования подачи насосов, что может быть реализовано за счет использования современных технических средств управления электроприводом - частотных и векторных устройств, позволяющих с высокой степенью точности обеспечивать требуемые параметры производительности электрических силовых машин. Рассмотрим влияние ЧРП на характеристики насоса (рисунок 2).

При качественно-количественном методе регулирования оптимизация может быть реализована в виде ряда регуляторов, управляющих системой

максимально близко к минимальной температуре теплоносителя в подающем теплопроводе без нарушения ограничивающих условий.

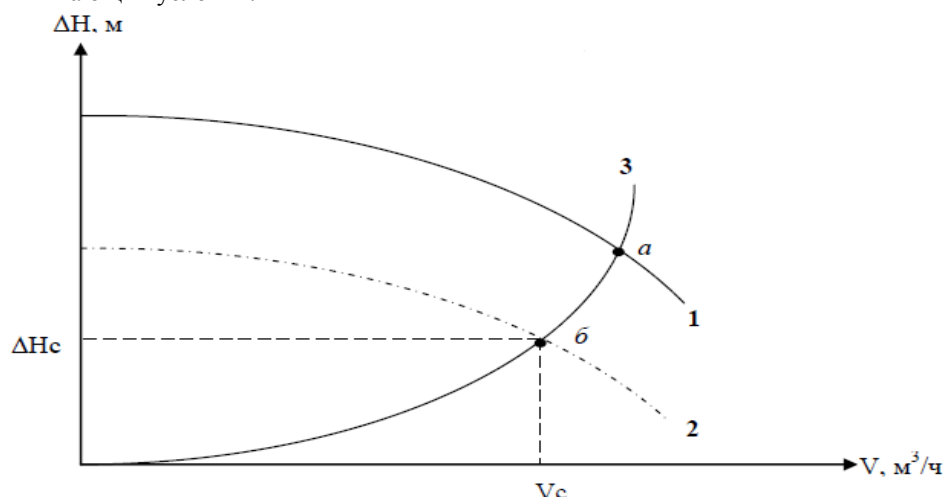


Рисунок 2 - Влияние частотно-регулируемого привода на характеристику насоса

Скорость потока контролируется одним регулятором, тогда как температура на вводе у потребителя контролируется регуляторами, расположенными в критических точках системы централизованного теплоснабжения.

Типовая система управления состоит из регулятора расхода и регуляторов температуры критических точек тепловой сети. В определенное время температура теплоносителя в подающем трубопроводе на выходе из теплоисточника выбирается в качестве максимума рекомендованных температур теплоносителя отдельных регуляторов. Второстепенный регулятор, определяющий температуру теплоносителя в определенное время, называется активным регулятором.

Ограничения по изменению температуры теплоносителя в подающем трубопроводе выполняются путем настройки расчетных параметров в регуляторах расхода и регуляторах температуры сетевых точек.

Динамические отношения между температурой теплоносителя в подающем трубопроводе, расходом и температурами сетевых точек являются изменяющимися по времени, их сложно установить по той причине, что тепловая нагрузка в системе изменяется со временем. В связи с этим, для решения проблемы управления требуются методы, способные обеспечить надежную работу при таких обстоятельствах.

Регулятор температуры сетевых точек зависит от модели, описывающей динамические отношения между температурой теплоносителя в подающем трубопроводе и температурами сетевых точек. Вследствие изменяющейся тепловой нагрузки такое отношение демонстрирует суточные, а также годовые изменения.

Модель прогнозирования, связывающая будущий массовый расход с прошлой и будущей температурой теплоносителя в подающем трубопроводе, должна принимать во внимание будущую тепловую нагрузку, т.е. она должна зависеть от прогнозов тепловой нагрузки. Вместо модели массового

расхода, которая зависит от выходных значений модели тепловых нагрузок, используемые алгоритмы регулирования используют прогнозы тепловой нагрузки непосредственно для расчета минимально необходимой температуры подачи, которая накладывается ограничениями массового расхода с учетом условий уравнения энергетического баланса.

Выбор наиболее эффективного метода регулирования определяется, в первую очередь, гидравлической характеристикой сети, а также характером потребления тепловой энергии, типом используемого оборудования на котельной и прочими факторами с различной степенью значимости.

Исходя из физических принципов функционирования сетей теплоснабжения, определяемых, в первую очередь, уравнениями теплопередачи и теплового баланса, можно судить об ограниченности управляемых параметров, что не позволяет получить возможность разработки принципиально новых решений по регулированию их режимов работы.

Соответственно, задачи оптимизации могут быть решены только посредством модификации существующих методик, которая может быть выполнена с помощью учета дополнительных факторов, оказывающих влияние на эффективность функционирования исследуемых систем.

Также следует отметить, что для наиболее полной оптимизации основных технических параметров целесообразно использовать расширенный набор исходных показателей:

- традиционно используемые,
- географические характеристики,
- климатические условия с возможностью оперативного учета, например, скорости и направления ветра относительно населенного пункта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Культяев С.Г., Левин А.С. Регулирование отпуска теплоты в период осенне-весенних перетопов [Текст] / С.Г. Культяев, А.С. Левин // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2012. №2. С. 140-144.
2. Baikov I.R., Kitaev S.V., Smorodova O.V., Kolotilov Yu.V. Analysis of the heat-insulating materials properties for pipeline fittings//Polymer Science. Series D. 2018. T. 11. № 1. С. 96-98.
3. D. Andrews et al. Background Report on EU-27 District Heating and Cooling Potentials, Barriers, Best Practice and Measures of Promotion. Joint Research Centre of Scientific and Policy Reports, 2012.
4. Электронный ресурс: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic>.

APPLICATION OF GROUND-PENETRATING RADAR FOR SPECIFICATIONS OF BLASTING ROCKS

Ekvist B.*Doctor of Technical Sciences, Professor, Physical Processes of Mining and Geocontrol Department, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia***Korotkov R.***PhD Student, Physical Processes of Mining and Geocontrol Department, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВАЕМЫХ МАССИВОВ

Эквист Б.В.*Доктор технических наук, профессор, Кафедра физических процессов горного производства и геоконтроля, Московский горный институт национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия***Коротков Р.Л.***Аспирант, Кафедра физических процессов горного производства и геоконтроля, Московский горный институт национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия***Abstract**

Proposed a method for optimizing the parameters of drilling and blasting operations, considering the physical and technical properties of rocks within the blasted block, in order to improve the quality of the blasting quarries with a complex geological structure. Described the ground-penetrating radar method is with the application of the "Oko-2" series of the development of the group of companies "LOGIS-GEOTECH" with antenna blocks AB-90 with a depth of sounding up to 16 m. and a resolution of 0.5 m. in depth and AB-150 with a sounding depth of 12 m. and resolving ability of 0.35 m. in depth. The results of laboratory experiments carried out on blasting blocks with various strength properties are presented, confirming the improvement in the quality of crushing of rock samples by explosion of charges with variable decelerations and location, depending on the strength properties of the samples, relative to charge explosions with unchanged parameters. This will ensure a better crushing of the blasted rock mass.

Аннотация

Предложен способ оптимизации параметров буровзрывных работ с учетом физико-технических свойств горных пород в пределах взрываемого блока, с целью улучшения качества взрыва на карьерах со сложной геологической структурой. Изложен метод радиолокации с применением георадаров серии "Око-2" разработки группы компаний "ЛОГИС-ГЕОТЕХ" с антенными блоками АБ-90 с глубиной зондирования до 16 м и разрешающей способностью 0.5 м по глубине и АБ-150 с глубиной зондирования 12 м и разрешающей способностью 0.35 м по глубине.

Изложены результаты лабораторных экспериментов проведенных на взрываемых блоках с различными прочностными свойствами, подтверждающие улучшение качества дробления образцов пород взрывом зарядов с переменными замедлениями и расположением, в зависимости от прочностных свойств образцов, относительно взрывов зарядов с неизменными параметрами. Это обеспечит более качественное дробление взорванной горной массы.

Keywords: Drilling and blasting operations, Ground-penetrating radar, GPR, Complex-structured rocks.

Ключевые слова: Сложноструктурные массивы, георадар, георадиолокация, градиент, прочностные свойства пород, параметры буровзрывных работ, результаты взрывов.

1.ВСТУПЛЕНИЕ

Взрывное разрушение сложноструктурных массивов имеет ряд особенностей, связанных с из-

менением прочностных свойств, в пределах взрываемого блока. Для оптимизации эффективности дробления массивов со сложной геологической структурой требуется оценка физико-технических

свойств пород и определение координат их залегания с различными прочностными свойствами в пределах взрываемого блока. Для оперативной оценки физико-технических свойств, взрываемых блоков подходит метод георадиолокации поверхностного слоя с применением георадаров [7, стр. 86-87., 5, стр. 203-210]. Георадарные технологии могут быть использованы для детального изучения сложноструктурных массивов, а также определения координат залегания пород с разными прочностными свойствами в пределах взрываемого блока, что позволит оптимизировать параметры буровзрывных работ и подобрать необходимые размеры сетки расположения зарядов и замедления между их взрывами. При плавном изменении крепости и трещиноватости горной породы параметры БВР (расстояние между зарядами, замедления, удельный расход ВВ и др.) изменяются плавно, при скачкообразном – скачкообразно. Известно, что прочностные характеристики пород влияют на расположение зарядов на взрываемом блоке и замедления между их взрывами. Например, если крепость взрываемых пород уменьшается, то согласно существующим рекомендациям, замедления между взрывами возрастают, а расстояния увеличиваются [8, стр. 471., 4, стр. 205-211]. На результаты взрыва влияют и другие параметры среды: вязкость, трещиноватость, обводненность и др.

2. ГЕОРАДАРЫ

2.1. Принцип работы георадара

Характерными особенностями георадиолокации являются оперативность проводимых работ и возможность получить недискретные данные о породном массиве. Для осуществления этого метода применяется георадар – геофизический прибор для

локационного просвечивания взрываемого массива. Это наиболее совершенная техника получения разрезов грунта, не требующая бурения или раскопок. Проведение геологических исследований, при построении разрезов грунта, основанное на бурении скважин с определённым шагом, не дает точной оценки расположения неоднородностей во взрываемом массиве. Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от участков пород с различными свойствами: электропроводностью и диэлектрической проницаемостью. Отраженный сигнал принимается приемной антенной, усиливается, преобразуется в цифровой вид и запоминается. Основной величиной, измеряемой при георадарных исследованиях, является время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника. Поскольку скорость распространения электромагнитной волны в разных материалах различна, измеряя времена пробега волн, и зная основные физические свойства пород в исследуемой среде, можно судить о строении взрываемого массива пород. Основной целью метода георадиолокации является определение положения границ раздела или локальных объектов. Получение полевой информации при георадарной съемке производится при перемещении блока антенн георадара по заданному маршруту на взрываемом блоке. При передвижении антенны георадара вдоль профиля регистрируется дифракционная картина по глубине и перемещению антенн по блоку, и формируется непрерывный временной разрез изучаемой среды. Дифракционная картина представляет собой условный, в виде волновой картины, разрез изучаемой среды (рисунок 1).

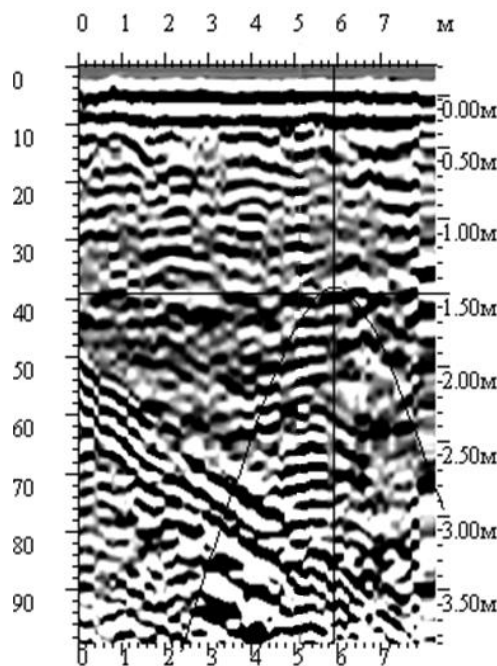


Рисунок 1. Пример дифракционной картины, полученной с помощью георадара серии «Око» с приёмной антенной АБ-400

Основными параметрами, определяющими методику съемки, и соответственно выбор антенных блоков являются: необходимая глубина исследования и размер структурных элементов (слоев или локальных объектов) которые необходимо выявить. В соответствии с этими величинами выбираются антенные блоки с определенной глубиной зондирования и разрешающей способностью.

Глубина зондирования – максимальная глубина отражающего объекта. Например, если задача состоит в определении местоположения объекта, расположенного приблизительно на глубине 3 м, обнаружить его возможно с помощью антенн, глубина зондирования которых превышает заданную глубину.

Так же существует понятие разрешающей способности. Разрешающей способностью называют минимальное расстояние по глубине, на котором могут быть различимы два отражающих объекта или их детали. В практическом значении, для успешного решения задачи необходимо, чтобы толщина слоев превышала значение разрешающей способности по глубине для выбранной антенны.

22.Использование георадаров в России

Широкое распространение в России получили георадары компании «ЛОГИС» серии «ОКО». Они характеризуются широким спектром предоставляемого основного и вспомогательного оборудования.

Антенный блок, включает в свой состав приёмо-передающие антенны, передающие и приёмные устройства и системы обработки информации. Тип антенного блока определяет глубину зондирования и разрешающую способность георадара. Прибор может комплектоваться несколькими антенными блоками для выполнения разных задач. Блок обработки, управления и индикации, как правило, ноутбуки различных типов с операционной системой Windows.

Телескопическая штанга, служит для перемещения георадара. Датчик перемещения, позволяет осуществлять точную привязку по расстоянию на местности. Измеритель пути, позволяет определять расстояние на местности. Соединительные оптические кабели, служат для передачи информации и сигналов и позволяют повысить качество радиолокационного сигнала.

Антенные блоки георадара «Око-2» – сменные, состоят из приемного и передающего блоков. Обработка данных георадиолокации, полученных при помощи георадара, осуществляется при помощи программы «GeoScan 32»).

Сущность обработки состоит, прежде всего, в выделении полезного сигнала на фоне помех и шума и расшифровки дифракционных снимков. С помощью разнообразных приемов преобразования сигналов помехи ослабляются или удаляются с записи, а полезные сигналы выделяются.

В процессе интерпретации дифракционных снимков выделяются границы слоев в обследуемой толще. Для определения мощностей полученных слоев необходимо знать свойства слагающих их пород.

Для того чтобы указанный способ был реализован в промышленности, он должен давать существенный экономический эффект и быть достаточно технологичным. Особенно это важно для месторождений, где резко выражены различия в прочностных свойствах горных пород, слагающих массивы.

Способ включает следующие основные операции:

- в соответствии с необходимой глубиной исследований и размером структурных элементов выбирается антенный блок с определенной глубиной зондирования и разрешающей способностью;
- при перемещении антенного блока георадара вдоль профиля производится георадарная съемка;
- при проведении георадарной съемки производится замер длины выполненного профиля измерительным колесом;
- при использовании геологической информации о существующих на данном месторождении породах производится привязка полученных дифракционных снимков к строению взрываемого блока;
- на основе полученных данных о геологическом строении блока, производят выбор параметров БВР в зависимости от прочностных характеристик участков взрываемого блока, при этом параметры БВР для разных по крепости пород выбираются как для блоков пород с разными свойствами.

3.ЭКСПЕРИМЕНТ

Для проверки теоретических исследований и изучения действия взрыва на сложноструктурные массивы, характеризующиеся как плавным переходом пород от одной крепости к другой, так и наличием в них твердых включений, проведены эксперименты на смоделированных разнопрочных блоках размером 40 х 30 см и толщиной 4 см, расположение зарядов в которых показано на рисунке 2. Расстояние между зарядами, без учета прочностных свойств, взрываемых блоков, по большей стороне блока 20 см и по меньшей стороне блока 15 см. Количество зарядов менялось в зависимости от прочностных характеристик и структуры взрываемых блоков. Неокрашенные части блоков имели коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протоdjяконова 1.5 – 2, а закрашенные 2.5 – 3. Модели блоков изготавливались из сухого кварцевого песка с частицами размером не более 0.25 мм с добавлением гипса и воды в различных соотношениях.

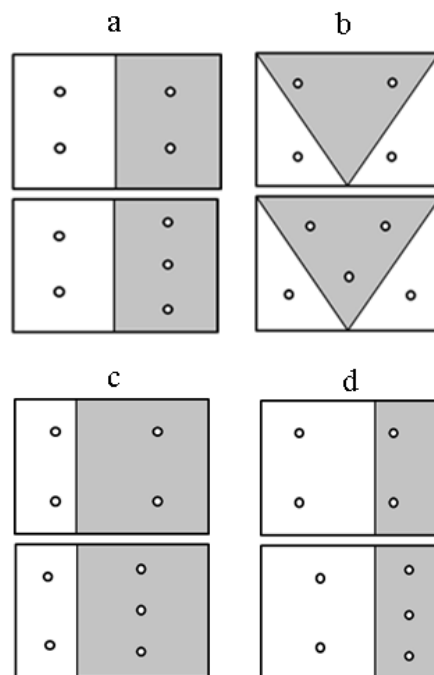


Рисунок 2. Схемы взрывания модельных блоков, состоящие из разных по крепости пород, с неизменными параметрами расположения зарядов (верхний ряд) и измененными расстояниями между зарядами с учетом прочностных характеристик блоков (нижний ряд)

Взрывы моделей осуществлялись при помощи пятиканального генератора импульсов с использованием короткозамедленного взрывания путем разряда конденсаторов на пиротехнические взрыватели. Максимальное напряжение, до которого заряжаются конденсаторы генератора 260 В. В пятиканальном генераторе емкость конденсатора в каждом из пяти каналов 3000 мкФ. Остаточное напряжение после имитации взрыва равно 50 В. Выделенная энергия при разряде конденсатора одного канала в пятиканальном генераторе:

$$W_{\text{ост}} = \frac{CU^2}{2} - \frac{CU_{\text{ост}}^2}{2}, \text{ Дж} \quad (1)$$

$$W_{\text{ост}} = \frac{3000 \cdot 10^{-6} \cdot 260^2}{2} - \frac{3000 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2}{2}$$

$$= 97,65 \text{ Дж},$$

где:

$W_{\text{ост}}$ – энергия, выделенная при имитации действия взрыва, Дж;

C – емкость конденсатора, Ф;

U – напряжение, до которого заряжается конденсатор, В;

$U_{\text{ост}}$ – напряжение, которое осталось на конденсаторах после имитации взрыва, В.

Выделенная энергия может быть уменьшена снижением напряжения, до которого заряжаются конденсаторы. Для увеличения мощности взрыва одного заряда каждый конденсатор разряжался на пиротехнический взрыватель, вставленный в отверстие модельного блока. Тогда мощность взрыва одного заряда:

$$W = W_{\text{взр}} + W_{\text{пир}} = 97.65 + 300 = 397.65 \text{ Дж}, \quad (2)$$

где:

$W_{\text{пир}} = 300$ – энергия взрыва пиротехнического взрывателя, Дж.

Общая максимальная энергия $W_{\text{общ}}$, которая

получена при имитации взрыва:

$$W_{\text{общ}} = 5 \times 97.65 + 5 \times 300 = 1988.25 \text{ Дж}. \quad (3)$$

Чтобы эксперимент в лабораторных условиях приближался к натурным исследованиям, взрывы в менее прочной части блоков происходили одновременно в первую очередь, а затем через 5 мс происходили одновременно взрывы в более прочной части модельных блоков.

При приближении эксперимента в лабораторных условиях к натурным исследованиям взрывы проходили одновременно вначале в менее прочной части блоков, а затем через 5 мс – в более прочной части. Лабораторные исследования включают в себя три серии опытов с различной вариацией изменения прочностных характеристик моделей блоков. В каждой изготавливалось по две модели образцов: одна взрывалась одновременно зарядами без учета изменения физико-технических свойств пород блока, а вторая – с учетом меняющихся свойств, т.е. с изменением расстояния между зарядами и их количеством, а также с замедлением 5 мс между взрывами в более прочной части моделей относительно взрывов в менее прочной части.

В первой серии опытов, (рисунок 2а), граница раздела пород проходила по центру блока, во второй, (рисунок 2б), твердые породы располагались внутри клина, а слабые по бокам. Клин твердых пород в образце имитировал хаотичное расположение включений твердых пород внутри породного массива. В третьей серии опытов, (рисунки 2с, 2д), граница раздела крепости пород была смещена в одном случае в сторону крепких пород, а в другом – в сторону слабых.

По опытным данным проводилась оценка качества дробления породы. В качестве критериев эффективности дробления приняты выход крупных

фракций и средний размер кусков раздробленных образцов.

Такие вариации расположения твердых пород в образцах, имитировавших сложноструктурный взрывааемый массив, позволили оценить эффективность изменения параметров БВР в зависимости от геометрии включений и объемов разрушения крепких и слабых пород. Так как прочностные характеристики пород влияют на выбор параметров взрывных работ, то эти параметры напрямую будут зависеть от изменения свойств горных пород. То есть, если изменение свойств происходит плавно, то параметры меняются плавно, а если изменение свойств резкое, то параметры меняются скачкообразно. Если в породном массиве имеются твердые включения, то необходимо располагать заряды так, чтобы линия наименьшего сопротивления до границы раздела пород соответствовала радиусу регулируемого дробления [3, стр. 50].

В результате опытов установлено, что при взрывании образцов, с учетом изменяющихся

свойств пород блока, а соответственно с изменением параметров БВР, в слабых породах образуются трещины и сколы, проходящие по границе раздела пород разных по крепости. Это способствует разгрузке крепких пород и облегчает разрушающее действие взрывов зарядов в них. Таким образом, происходит более интенсивное дробление твердых пород в массивах со сложной геологической структурой [9, стр. 280; 10, стр. 44-46; 11, стр. 17; 2, стр. 252-255].

На рисунке 3 приводится сравнение выхода крупных фракций при взрыве слабых и крепких пород при взрывании экспериментальных блоков без учета и с учетом изменяющихся свойств пород. Очевидно, что во втором случае эффективность дробления выше, чем в первом. При этом эффективность дробления в твердых породах возрастает, выход крупных фракций снижается на 26%. Так же при изменении параметров взрывных работ наблюдается более равномерное дробление как слабых пород, так и крепких включений и увеличение выхода средних фракций.

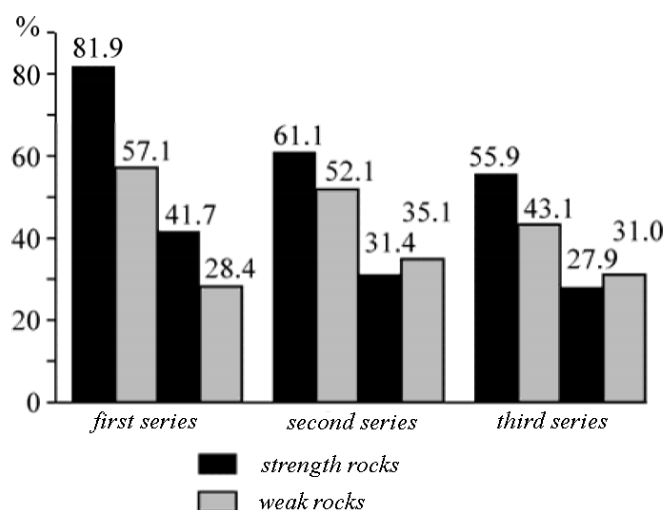


Рисунок 3. Гистограмма выхода крупных фракций в зависимости от свойств образцов: две первые колонки при неизменных параметрах взрыва, две следующие – при измененных

При плавном изменении свойств необходимо учитывать градиент их изменения в пространстве, рисунок 4. Картину изменения свойств взрывааемых пород можно составить на основе георадиолокационных просвечиваний используя, к примеру, георадары серии “ОКО” [7, стр. 87; 5, стр. 203-210; 1, стр. 364].

На рисунке 4 показана разбивка взрываемого блока зарядами ВВ. Точки A, B, C, D, M, K – места расположения зарядов. Допустим в точке A крепость f , ей соответствует расстояние между скважинными зарядами a и замедление t . Откладываем по оси y расстояние a , по оси x также расстояние a .

В точке B крепость f_1 , ей соответствует расстояние между зарядами $a \pm \Delta a$. Плюс, если крепость $f_1 \leq f$, минус, если $f_1 > f$. Замедление между точками B и C $t \pm \Delta t$. Плюс, если крепость $f_1 \leq f$, минус, если $f_1 > f$. Аналогично в точке C крепость f_2 , ей соответствует расстояние между зарядами $a \pm \Delta a_1$. Плюс, если крепость $f_2 \leq f$, минус, если $f_2 > f$. Замедление между точками C и M $t \pm \Delta t_1$. Плюс, если крепость $f_2 \leq f$, минус, если $f_2 > f$. Величины $\Delta a, \Delta a_1$ и $\Delta t, \Delta t_1$ тем больше, чем больше градиент крепости породы. Для следующих точек B, K, M и т.д. действия аналогичны.

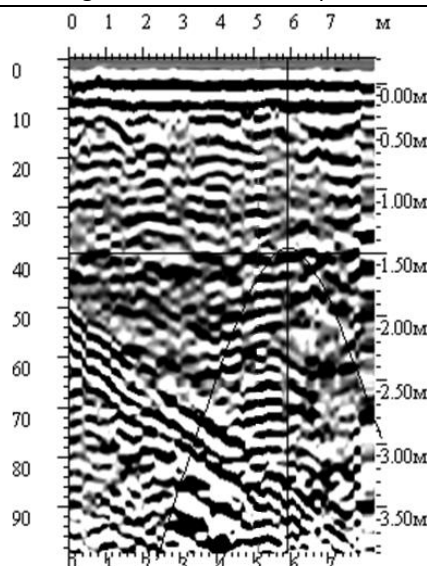


Figure 1. GPR tracking, an example of a radiogram. GPR "OKO-2" series, antenna unit AB-400

The main parameters that determine the shooting technique, and accordingly the choice of antenna blocks: are the necessary depth of research, resolving ability and the size of the structural elements (layers or local objects) that need to be identified. In accordance with these values, antenna units with a certain depth of sounding and resolving power are selected.

The depth of sounding is the maximum depth of the reflecting object. For example, if the task is to determine the location of an object located approximately at a depth of 3 m. it can be detected with the aid of antennas, the depth of sounding of which exceeds a predetermined depth.

Resolving ability is the minimum depth distance, on which two reflecting objects or their parts can be distinguished. In practical terms, to successfully solve the problem, it is necessary that the thickness of the layers exceed the value of the depth resolution for the selected antenna.

6.2. Russian GPR using

Widely spread in Russia got ground-penetrating radars of the company "LOGIS" of the series "OKO". They are characterized by a wide range of provided basic and auxiliary equipment. Antenna unit includes in its composition receiving and transmitting antennas, transmitting and receiving devices and information processing systems. The type of the antenna unit determines the depth of sounding and the resolving power of the GPR. The device can be equipped with several antenna units for different tasks. Block processing, management and display, usually laptops of various types with the operating system Windows.

The antenna blocks of the "Oko-2" are replaceable. It consists of a receiving and transmitting unit. The processing of sounding data is carried out by the program "GeoScan 32".

The principle of processing consists in the allocation of a useful signal against a background of noise and the decoding of radargram. Through a variety of signal conversion techniques, interference is attenuated or de-

leted from the recording, and useful signals are allocated. In the process of interpreting radargram, the boundaries of layers in the stratum are distinguished.

For this method to be implemented in industry, it must have a significant economic effect and be sufficiently technological. This is especially important for quarries where the differences in the strength properties of rocks.

The method includes the following basic operations:

- in accordance with the required depth of research and the size of the structural elements, an antenna unit with a certain depth of sounding and resolving ability is selected;
- when moving the GPR antenna unit along the profile, images are performed;
- when geological information is used about existing rocks in the field, the obtained diffraction images are linked to the structure of the blast block;
- based on the obtained data on the geological structure of the block, the parameters of the drilling and blasting operations are selected depending on the strength characteristics of the parts of the blasted block.

7. EXPERIMENT

To test theoretical studies the blasting effect on complex-structure arrays, characterized both by the smooth transition of rocks from one strength to another, and by the presence of solid inclusions there, experiments were carried out on simulated different-strength blocks measuring 40×30 cm and thick-plane 4 cm. The location of charges in which is shown in figure 2. The distance between the charges in blocks which not considering the strength properties, on the larger side of the block 20 cm and at the side of the block 15 cm. The distances between the charges changed and considering the strength characteristics of the blasting blocks, are shown in figure 2 on a scale relative to the dimensions of the blasting blocks. The number of charges varied depending on the strength characteristics and the structure of the blasting blocks. The unpainted parts of the

blocks had a coefficient of strength on the scale of professor M.M. Protodiakonov 1.5 - 2, and painted 2.5 - 3. Models of blocks were made of dry quartz sand with

particles not larger than 0.25 mm with addition of gypsum and water in various proportions.

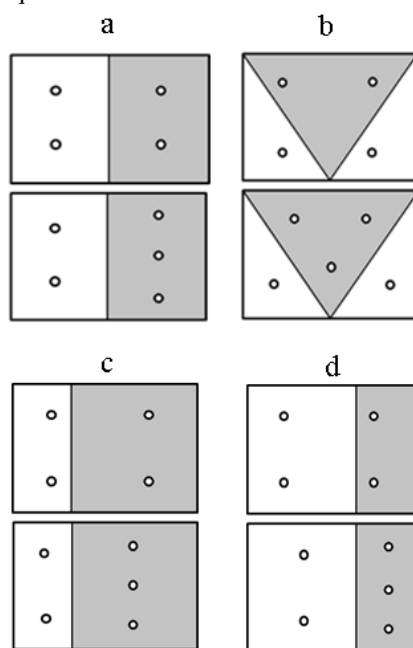


Figure 2. Schemes of explosion of model blocks, consisting of different rocks with the same strength, with unchanged parameters of the location of charges (upper row) and changed distances between charges, considering the strength characteristics of the blocks (bottom row)

Explosions of models carry through by a five-channel pulse generator with the use of delayed blasting by discharging capacitors to pyrotechnic fuses.

The maximum voltage to generator is charged on 260 V. The capacity in each one of the five channels is 3000 μ F. The residual voltage after simulating an explosion is 50 V. The energy released when a capacitor is discharged from one channel in a five-channel generator:

$$W_{exp} = \frac{CU^2}{2} - \frac{CU_{rem}^2}{2}, J \quad (1)$$

$$W_{exp} = \frac{3000 \cdot 10^{-6} \cdot 260^2}{2} - \frac{3000 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2}{2} = 97,65 J,$$

where:

W_{exp} – the energy released during the simulation of the explosion, J;

C – capacitance of capacitor F;

U – the voltage to the capacitor is charged W;

U_{rem} – voltage that remained on the capacitors after simulating the explosion, W.

The energy released can be reduced by lowering the voltage to which capacitors are charged. To increase the explosion power of a single charge, each capacitor was expanded to a pyrotechnic fuse inserted into the hole of the model unit. Then the power of explosion of a single charge:

$$W = W_{blst} + W_{pyro} = 97.65 + 300 = 397.65 J, \quad (2)$$

where:

W_{pyro} = 300 – explosion energy of a pyrotechnic fuze, J.

The total maximum energy W_{total} , which was obtained in simulating the explosion:

$$W_{total} = 5 \times 97.65 + 5 \times 300 = 1988.25 J. \quad (3)$$

In order to make the experiment in laboratory con-

ditions close to field studies, explosions in the less stable part of the blocks occurred simultaneously in the first place, and then in 5 ms there were simultaneous explosions in a more solid part of the model blocks.

Laboratory studies include three series of experiments with varying variations in the strength characteristics of the block models. In each series was made two models of blocks. First one it was blasted by charges are not considering of physical-technical property. Second one it was blasted be charges considering changed property (distance between the charges, quantity and 5 ms delay).

In the first series of experiments (figure. 2a), the interface of the rocks passed along the center of the block. In the second (figure. 2b), the hard rocks were located inside the model in the form of a wedge, but weak on the sides. The wedge of solid rocks in the sample imitated the chaotic arrangement of inclusions of solid rock within the rock massif. In the third series of experiments, (figures 2c and 2d), the interface of the rock strength was shifted in one case toward strong rocks, and in the other is toward the weak.

According to the experimental data, the quality of rock crushing was assessed. The output of coarse fractions and the average size of pieces of crushed samples were taken as criteria for the efficiency of crushing.

Such variations in the arrangement of solid rocks in the samples simulating the complex-structural explosive massif made it possible to estimate the efficiency of the drilling and blasting parameters change depending on the geometry of inclusions and the volume of destruction of strong and weak rocks. Since the strength characteristics of the rocks affect the choice of blasting parameters, these parameters will directly depend on

the change in the properties of the rocks. That is, if the property change occurs smoothly, then the parameters change smoothly, and if the property change is sharp, the parameters change in an abrupt manner. If solid inclusions are present in the rock massif, it is necessary to place the charges so that the line of least resistance to the rock boundary corresponds to the radius of the controlled crushing [3, p. 50].

As a result of the experiments, it was established that when samples are blasted, considering the changing properties of the block rocks, and, correspondingly, with the change in the drilling and blasting parameters, cracks and chips are formed in the weak rocks passing along the boundary between the rocks of different strength. This facilitates the unloading of strong rocks and facilitates the destructive effect of explosions of

charges in them. Thus there is a more intensive crushing of hard rocks in arrays with a complex geological structure [9, p. 280; 10, pp. 44-46; 11, p. 17; 2, pp. 252-255].

Figure 3 compares the yield of large fractions in the explosion of weak and strong rocks during the explosion of experimental blocks not considering and considering the changing properties of the rocks. Obviously, in the second case, the efficiency of crushing is higher than in the former. At the same time, the efficiency of crushing in solid rocks increases, the yield of large fractions decreases by 26%. Also, when the parameters of blasting operations change, a more uniform crushing of both weak rocks and strong inclusions is observed and the yield of medium fractions increases.

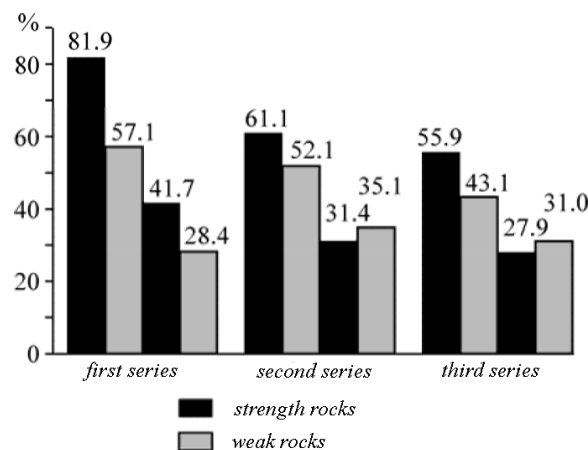


Figure 3. The histogram of the output of large fractions depending on the properties of the samples: the first two columns with invariable parameters of the explosion, the two following - with the modified

With a gradual change in properties, it is necessary to considering the gradient of their variation in the space. The picture of the change in the properties of the exploded rocks can be compiled on the basis of GPR reference [7, pp. 87; 5, pp. 203-210; 1, p. 364].

Figure 4 shows the breakdown of the exploded block by charges of explosives. The points A, B, C, B, M, K are the location of the charges. Assume at point A the strength f , it corresponds to the distance between the well charges a and the deceleration t . We divide the distance a along the y axis, and also the distance a along the x axis. At point B f strength f_i , it corresponds to the

distance between charges $a \pm \Delta a$. Plus, if the strength $f_1 \leq f$, minus if $f_1 > f$. Deceleration between points B and B - $t \pm \Delta t$. Plus, if the strength $f_1 \leq f$, minus if $f_1 > f$. Analogously at the point C, the strength f_2 , it corresponds to the distance between the charges $a \pm \Delta a_1$. Plus, if the strength $f_2 \leq f$, minus if $f_2 > f$. The slowing down between points C and M is $t \pm \Delta t_1$. Plus, if the strength $f_2 \leq f$, minus if $f_2 > f$. The values of Δa , Δa_1 and Δt , Δt_1 are the larger, the larger the gradient of the rock breddness. For the following points B, K, M, etc. the actions are the same.

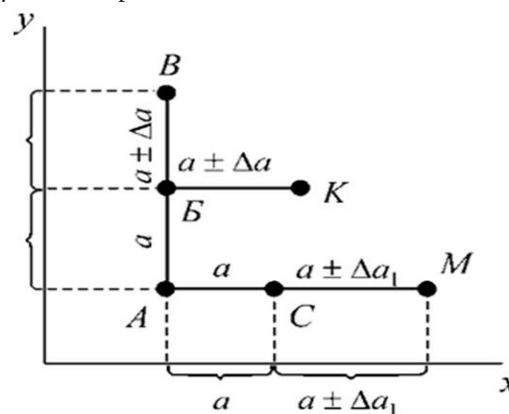


Figure 4. Breaking of an exploded block with explosive charges

8. CONCLUSION

As a result of changes in the parameters of blasting operations within the destroyed blocks (location of charges, sequence of blasting, delay interval), in accordance with the changing physical and technical properties of rocks, it is possible to achieve a more qualitative crushing than unchanged parameters.

The performed laboratory experiments confirm the efficiency of changing the parameters of drilling and blasting operations, depending on the geological features of the inhomogeneous massif.

A technique for blasting rock massifs based on their GPR spreads is proposed.

REFERENCES:

1. Alenichev, I.A. Korrektirovka udel'nogo raskhoda vzryvchatogo veshchestva. Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten', 2016. №7, P. 364-373.
2. Chan Kuang Hiyeu, Nguyen Din Ahn, Nkhy Van Fuk, Belin V. A. Pilot studies of influence of diameter of explosive wells on seismic action of explosions on Nuybeo coal mine. Explosive technologies : conference materials, Hanoi, Vietnam. 2015. P. 252–255.
3. Ekvist, B.V., & Vartanov, V.G. Laboratornyy praktikum po distsipline "Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh rabot". Moskva: Gornaya kniga, 2006. 50 p.
4. Gorokhov N. L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method // Scientific Reports on Resource Issues. Vol 1. International University of Resources Frierberg 2011. P. 205-211.
5. Semeykin, N.P., Pomozov, V.V., Ekvist, B.V., & Monakhov, V.V. (2008). Geofizicheskie pribory novogo pokoleniya. Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten', 2008. №12. P. 203-210.
6. Sovmen, V.K., Kutuzov, B.N., Mar'yasov, A.L., Ekvist, B.V., & Tokarenko, A.V. Seysmicheskaya bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh. Moskva: Gornaya kniga, 2012. 228 p.
7. Kulizhnikov, A.M., Burda, S.N., & Belozarov, A.A. (2004). Primenenie georadarov dlya razvedki i otsenki zapasov dorozhno-stroitel'nykh materialov. Gornyy Zhurnal, Moskva, №3, P. 86-87.
8. Kutuzov, B.N. Metody vedeniya vzryvnykh rabot. Razrushenie gornykh porod vzryvom. Moskva: Gornaya kniga. 2009. 2009. 471p.
9. Netteleton M. This book was originally published in the English language by Chapman, Hall Ltd of London, 1987. 280 p.
10. Kutuzov, B.N., Ekvist, B.V., & Bragin, P.A. Sravnitel'naya otsenka seysmicheskogo vozdeystviya vzryva skvazhinnykh zaryadov pri ispol'zovanii sistemy neel-ektricheskogo initsirovaniya i elektrodetonnatorov s elektronnyim zamedleniem. Gornyy Zhurnal. 2008, №12, P. 44-46.
11. Mehdi Hosseini, Mehdi Seifi Baghikhani. Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine// International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing, 2013. № 2(2). P. 17–23. DOI: 10.5923/j.mining.20130202.01.

№17/2018

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang (Peking University, China)

and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>