

**Телешова Н. С.**  
**N.S.Teleshova**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ПУСКА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ  
С ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

**MODELING THE START BY UNDERFREQUENCY RELAY FOR AN ELECTROMAG-  
NETIC SYNCHRONOUS MOTOR OF A POWER PLANT WITH GAS-TURBINE ENGINE**



**Телешова Наталья Сергеевна** – аспирант Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток). E-mail: Taifun@mail.ru

**Ms. Tanjana S. Teleshova** – PhD Candidate, the Federal Far-Eastern University, Russia, city of Vladivostok. E-mail: Taifun@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты исследований математической и физической модели магнитоэлектрического синхронного двигателя электроэнергетической установки с газотурбинным двигателем.

**Summary.** This paper considers the research results concerning a mathematical and physical model of a synchronous electric magnetic motor of a gas-turbine driven power plant.

**Ключевые слова:** синхронный двигатель, частотный пуск, математическое моделирование.

**Key words:** synchronous motor, start by underfrequency relay, mathematical modeling.

УДК 621.311.21:621.375.26

**Введение.** В современных условиях создание высокоэкономичных, мобильных, экологически чистых источников электроэнергии для надежного резервирования, а также эффективного электроснабжения удаленных районов представляется важной научно-технической задачей. Одним из вариантов подобных установок является газотурбинный генератор, рассчитанный на повышенные частоты (до ста и более тысяч об/мин) вращения. Это высоко технологичные системы, органически сочетающие газовую турбину, генератор, полупроводниковый преобразователь частоты с эффективным регулятором выходных параметров. Их производство невозможно без серьезных инноваций в турбостроении, электромеханике, полупроводниковой и микропроцессорных технологиях.

Надежность запуска газотурбинного двигателя (ГТД) является одним из факторов, определяющих эксплуатационную надежность энергоустановки в целом, оперативность ее применения, область эксплуатации и, в конечном итоге, технико-экономическую привлекательность для потенциальных заказчиков.

Цель данной работы заключается в проверке возможности частотно-токового управления процессом запуска магнитоэлектрической синхронной машины (СМЭМ) совместно с ГТД от преобразователя частоты с векторным законом управления без использования измерительного преобразователя частоты вращения. Реализация такого способа подразумевает наличие в памяти центрального процессора (DSP) математических моделей магнитоэлектрического синхронного двигателя и соответствующих наблюдателей регулируемых координат системы.

Исследование энергетических процессов стартерного режима работы выполняется на имитационной модели в среде Matlab&Simulink.

**Теоретический анализ.** Динамику процесса запуска ГТД посредством СДПМ можно представить в виде трех этапов, следующих один за другим [1; 2]. В течение каждого этапа на ротор действуют моменты, при которых ротор находится в состоянии динамического равновесия.

На первом этапе, начинающемся с момента подключения стартера, раскрутка ротора электроэнергетической установки осуществляется только стартером без подачи топлива в камеру сгорания. Конечная частота вращения на этом этапе пуска ( $n_1$ ) должна составлять (10...20)% рабочей скорости, продолжительность первого этапа составляет (10...40) с [1; 2].

На втором этапе СДПМ и турбина совместно раскручивают ротор ГТД до скорости  $n_2$ , называемой скоростью сопровождения. Скорость  $n_2$  составляет от 20 до 30 % рабочей скорости ГТД. Продолжительность второго этапа (10...20) с [1; 2].

При достижении частоты вращения ротора  $n_2$  наступает третий этап запуска. На этом этапе при скорости порядка  $0,7 n_{ХХ}$  ( $n_{ХХ}$  – скорость холостого хода) стартер отключается от источника энергии. Происходит самостоятельный разгон ротора энергоустановки под воздействием лишь избыточного момента, развиваемого турбиной, обеспечивающего выход на режим «малого газа» [1].

Полный цикл работы стартера (вплоть до его отключения) составляет от 30 до 120 с, время выхода ГТД на номинальный режим работы и прием нагрузки – от 4 до 8 мин [1; 2].

На основании теоретических сведений [3;4] и полученного математического описания СДПМ и наблюдателей регулируемых координат системы – частоты вращения ротора ( $\omega$ ) и углового положения ( $\theta$ , угла нагрузки) на рис. 1 представлена структурная схема имитационной модели двигательного режима работы, используемая при моделировании в среде Matlab&Simulink.

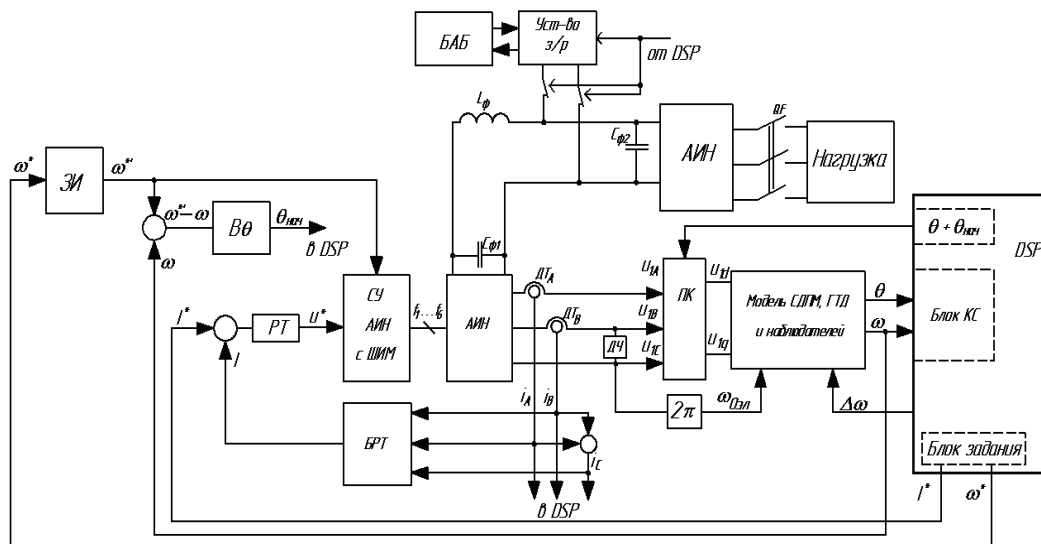


Рис. 1. Структурная схема векторного частотно-токового управления магнитоэлектрическим синхронным двигателем:

*ЗИ* – задатчик интенсивности; *Vθ* – блок вычисления начального углового положения ротора; *ПК* – преобразователь координат; *РТ* – регулятор тока; *АИН* – автономный инвертор напряжения; *СУ АИН с ШИМ* – система управления АИН широтно-импульсной модуляцией; *ДТ<sub>А</sub>*, *ДТ<sub>В</sub>* – измерительный преобразователь тока; *ДЧ* – измерительный преобразователь частоты; *СДПМ* – синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов; *ГТД* – газотурбинный двигатель; *Блок КС* – блок контроля синхронизации; *БАБ* – блок аккумуляторных батарей; *Уст-во з/р* – устройство заряда/разряда БАБ; *БРТ* – блок расчета тока

Система управления процессом запуска СДПМ содержит контур регулирования тока. На входе регулятора тока (РТ) сравниваются между собой действительное ( $I$ ) и задающее ( $I^*$ ) значения тока статора СДПМ, последнее определяется технологическим процессом запуска ГТД.

Требуемый закон изменения частоты вращения ротора ГТД заложен в память процессора в виде графика скорости, поступает на вход задатчика интенсивности (ЗИ). На выходе последнего изменение сигнал задания происходит по параболическому закону, что обеспечивает требуемый плавный закон разгон ГТД посредством частотного запуска СДПМ.

Блок ( $B\theta$ ) используется для вычисления начального угла нагрузки, который требуется для преобразования системы координат  $abc$  в  $dq$ .

Блок контроля синхронизации КС реализован в DSP на основании сравнения заданных значений критического угла нагрузки ( $\theta_{кр}$ ) и частоты вращения ротора ( $\omega^*$ ) с действительными значениями  $\theta$  и  $\omega$ .

Для осуществления надежного качественного запуска ГТД посредством СДПМ, предусмотрен блок аккумуляторных батарей (БАБ), управляемый по соответствующему сигналу от DSP.

Структура и параметры соответствующих регуляторов определяются из условий стандартных настроек согласно рекомендациям, изложенным в литературе [5].

**Моделирование.** На базе структурной схемы рис. 1, с учетом оптимизации контуров регулирования на рис. 2 представлена структурная схема имитационной системы «полупроводниковый преобразователь – синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов – ГТД», используемая при моделировании в среде Matlab&Simulink.

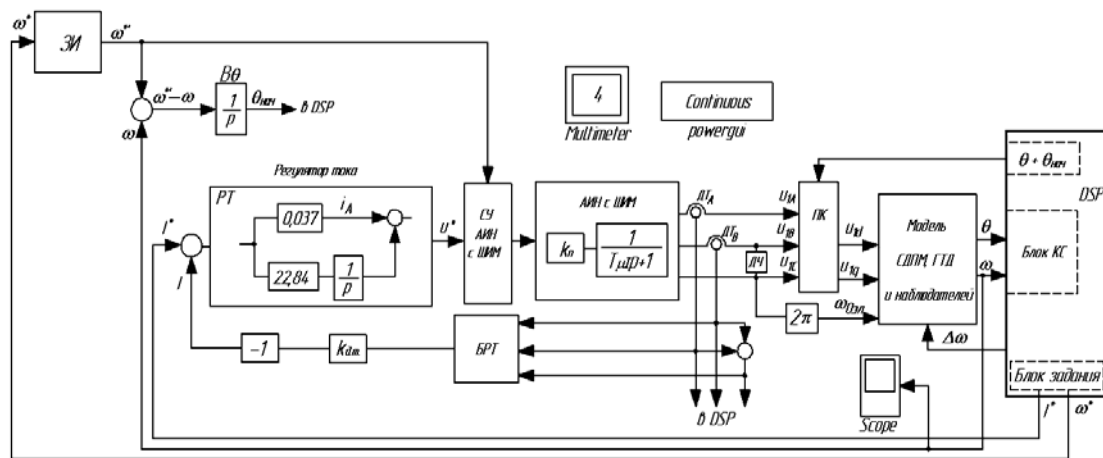


Рис. 2. Структурная схема исследования частотного запуска магнитоэлектрического синхронного двигателя:

$ПК$  – преобразователь координат;  $Multimeter$  – измерительный блок;  $powerqui$  – блок анализа;  $Scope$  – осциллограф;  $k_n$  – коэффициент передачи преобразователя (АИН);

$k_{d.m.}$  – коэффициент обратной связи по току

При моделировании процессов используются данные магнитоэлектрического синхронного генератора 500 кВт с номинальным фазным напряжением 250 В, током якоря 784,3 А, числом пар полюсов 4, частотой вращения 40 000 об/мин ( $4,189 \cdot 10^3$  рад/с), активным сопротивлением  $5,851 \cdot 10^{-4}$  Ом, индуктивностями и активными сопротивлениями по осям  $d$  и  $q$  соответственно  $9,093 \cdot 10^{-6}$  и  $1,229 \cdot 10^{-5}$  Гн, и соответственно  $3,382 \cdot 10^{-3}$  и  $6,055 \cdot 10^{-3}$ ; постоянная времени двигателя  $T_l = 1,062 \cdot 10^{-3}$ , постоянная времени аperiodического звена АИН с ШИМ  $1 \cdot 10^{-4}$  с.

По меркам программы Matlab пуска СДПМ это длительный процесс, который не может быть смоделирован в один прием [6; 7]. Поэтому потребовались повторные вычисления от некоторых моментов времени с заданием соответствующих «новых» параметров расчета. С этой целью в рабочее пространство среды Matlab&Simulink были помещены блоки To Workspace и powerqui [6; 7].

Таким образом, весь рабочий процесс пуска СДПМ моделировался в несколько этапов, каждый в среднем по 20с. Полученные на каждом этапе параметры моделирования записывались в рабочее пространство блоком To Workspace. Графики полного процесса запуска, показанные на рис. 3 и соответственно на рис. 4, получены путем «сшивки» пограничных значений промоделированных этапов посредством использования соответствующих команд и блоков [6; 7].

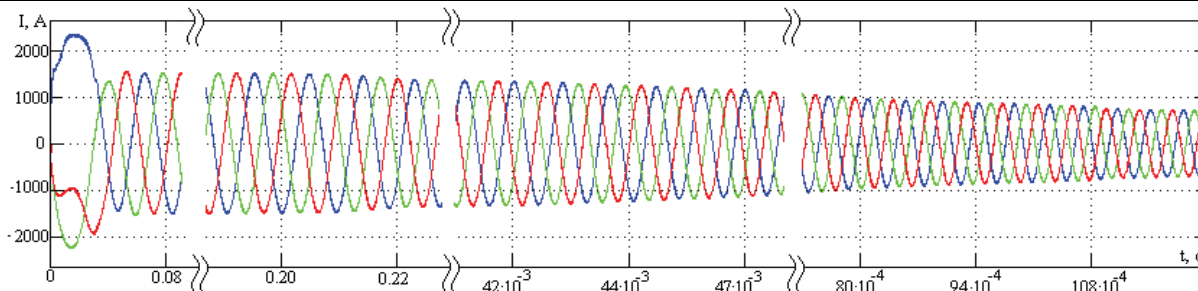


Рис. 3. Результаты моделирования токов обмотки статор

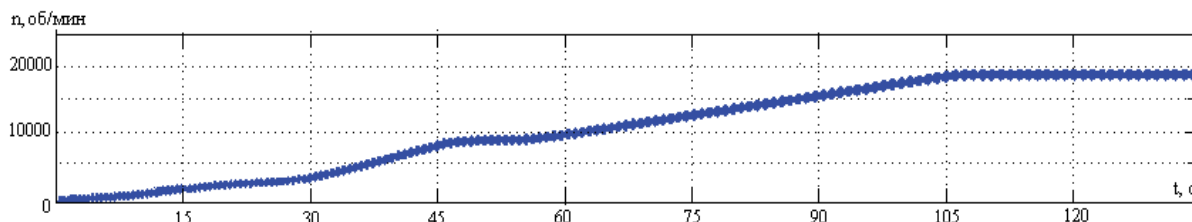


Рис. 4. Результаты моделирования частоты вращения

Из полученных осциллограмм следует, что полный цикл работы СДПМ в режиме стартера составляет 90...100 с.

Пуск СДПМ сопровождается колебаниями скорости ротора и, следовательно, угла нагрузки. Исключение колебаний, как известно, уменьшает вероятность выпадения синхронного двигателя из синхронизма при возмущающих воздействиях. Как показали исследования, уменьшить вероятность появления неустойчивых процессов при пуске и при переходе в режим синхронного вращения возможно выбором соответствующих начальных условий.

На основании рекомендаций в [8] и с учетом собственных исследований имитационной модели (см. рис. 2) для этого достаточно установить поле статора в положение, опережающее ротор на угол:

$$\chi = \arcsin \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_m}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_n$  – ускорение в эл.рад/с<sup>2</sup>, создаваемое моментом нагрузки;  $\varepsilon_m$  – максимальное ускорение, эл.рад/с<sup>2</sup>.

Изменение угла поворота поля статора и его скорости в модели осуществляется посредством использования дополнительного блока Step. Разумеется, в реальных условиях скачкообразное изменение возможно лишь приближенно. Следовательно, реально можно существенно уменьшить колебания, а полностью исключить их можно только в идеализированной модели.

**Вывод.** Предложенная виртуальная модель позволяет всесторонне исследовать поведение магнитоэлектрической синхронной машины в режиме запуска ГТД, наблюдать и регистрировать значения интересующих параметров. В дальнейшем предложенная имитационная модель может быть использована в качестве основы для построения расширенной виртуальной модели микротурбинной установки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ланчуковский, В. И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок: учеб. / В. И. Ланчуковский, А. В. Козьминых. – М.: Транспорт, 1983. – 320 с.
2. Обзор и состояние развития современных газотурбинных установок. НТЦ «Микротурбинные технологии». – М., 2007. – 47 с.
3. Телешова, Н. С. Моделирование системы «Синхронная машина с постоянными магнитами – двухзвенный преобразователь частоты и напряжения» / Н. С. Телешова // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 162-166 с.



Размыслов В.А., Бондаренко В.А.  
V.A.Razmyslov, V.A.Bondarenko

**РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОДНОФАЗНОМ ТРЁХСТЕРЖНЕВОМ СВАРОЧНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ**

**CALCULATION AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES TAKING PLACE IN A SINGLE-PHASE THREE-CORE ARC-WELDING TRANSFORMER**



**Размыслов Валерьян Александрович** – профессор кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 89141690950.

**Mr. Valerian A. Razmyslov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), tel.: + 79141690950.



**Бондаренко Владимир Александрович** – студент магистратуры кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 89141743529. E-mail: valdeck@td-net.ru.

**Mr. Vladimir A. Bondarenko** – MA student of Electromechanics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), tel.: +79141743529. E-mail: valdeck@td-net.ru.

**Аннотация.** Разработана математическая модель однофазного трёхстержневого сварочного трансформатора с расположением первичной и вторичной обмоток на разных стержнях. Приведены электромагнитная схема сварочного устройства, схема магнитной цепи трансформатора и система уравнений, описывающая электромагнитные процессы в сварочном устройстве. Выполнены расчёты и проведён анализ электромагнитных процессов в предлагаемом сварочном устройстве.

**Summary.** Calculation and analysis of electromagnetic processes taking place in a single-phase three-core arc-welding transformer are proposed. A mathematical model is proposed for a single-phase three-core arc-welding transformer with primary and secondary coils on different cores. Presented is an electric-magnetic diagram of the welding device, its magnetic circuit diagram and a set of equations describing electromagnetic processes in the welding device. Calculations are made and analysis carried out of electromagnetic processes in the proposed welding unit.

**Ключевые слова:** электромагнитные процессы, переходные процессы, сварочный трансформатор, электрическая дуга, регулирование сварочного тока, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности.

**Key words:** electromagnetic processes, transient processes, arc-welding transformer, electric arc, welding current control, efficiency factor, power ratio.

УДК 621.314.2

**Описание сварочного трансформатора**

Сварочное устройство состоит из однофазного трехстержневого трансформатора и шестиплевого однофазного выпрямителя, трансформатор с выходом на постоянном токе для ручной дуговой сварки (см. рис. 1). Первичная обмотка трансформатора расположена на среднем стержне. Вторичная обмотка состоит из двух частей – обмотка ОН относительно низкого напряжения, которая обеспечивает основную часть сварочного тока, и обмотка ОВ относительно высокого напряжения, которая предназначена для зажигания и поддержания устойчивого горения дуги. Обмотка ОВ, в свою очередь, состоит из двух частей, которые располагаются на разных крайних стержнях и соединены согласно. Благодаря размещению первичной и вторичных обмоток на разных стержнях магнитопровода, трансформатор обладает большим магнитным рассеянием, что обеспечивает крутопадающую внешнюю характеристику без применения токоограничивающего дросселя. При таких характеристиках напряжение холостого хода источника питания всегда больше напряжения дуги, что облегчает первоначальное и повторные зажигания дуги. Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике ограничивается ток короткого замыкания. Вторичные обмотки работают параллельно через схему выпрямления, в виде однофазного шестиплевого выпрямителя. Она состоит из выпрямительных диодов ( $VD1, VD2, VD3, VD4$ ) – неуправляемые, тиристоров схемы выпрямления ( $VS5$  и  $VS6$ ) – управляемые, что позволяет плавно регулировать сварочный ток. Число витков обмотки ОВ ( $w_3 + w_4$ ) выбирается из условия получения напряжения холостого хода, достаточного для успешного зажигания дуги. Сечения крайних стержней одинаковы, а сечение среднего стержня равно сумме сечений крайних стержней. На холостом ходу ЭДС обмотки ОВ больше чем обмотки ОН, и она является напряжением холостого хода сварочного устройства.

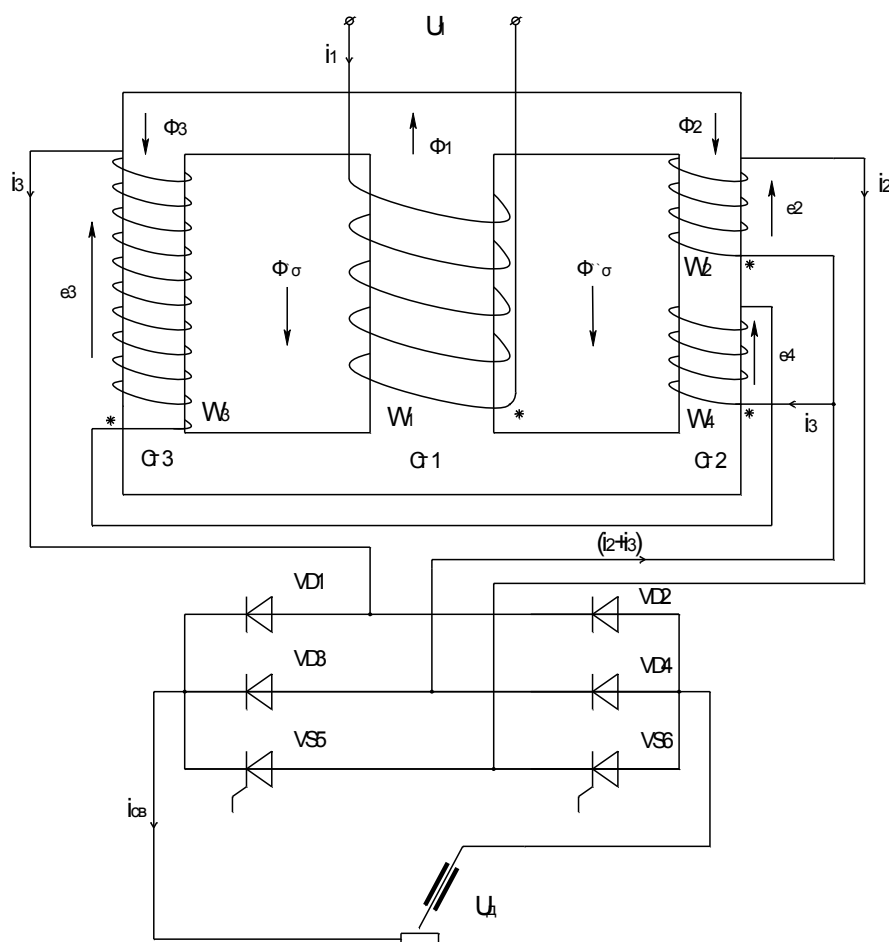


Рис. 1. Электромагнитная схема сварочного устройства

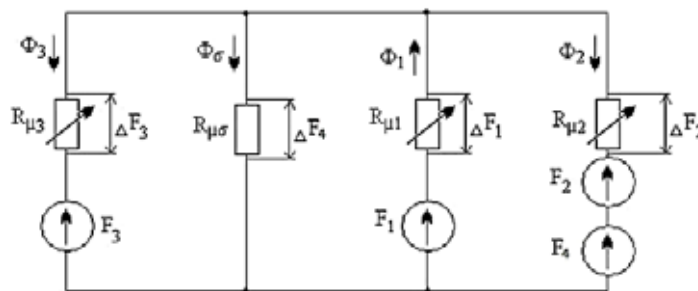


Рис. 2. Схема магнитной цепи трансформатора

## Математическая модель сварочного устройства

Электромагнитные переходные процессы через мгновенные значения переменных описываются уравнениями равновесия напряжений обмоток и уравнениями магнитной цепи.

$$\left\{ \begin{array}{l} u_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} + r_1 i_1, \\ e_2 = r_2 i_2 + r_{d2} i_2 + r_{d4} (i_2 + i_3) + r_k (i_2 + i_3) + k_2 u_d, \\ e_3 + e_4 = r_3 i_3 + r_{d3} i_3 + r_{d4} (i_2 + i_3) + r_k (i_2 + i_3) + k_3 u_d, \\ i_{св} = |i_2 + i_3|, \\ U_d = 20 + (0.04 + d_0) i_{св}, \\ \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_{\sigma}, \\ F_1 = \Delta F_1 + \Delta F_4, \\ F_2 + F_4 = \Delta F_2 - \Delta F_4, \\ F_3 = \Delta F_3 - \Delta F_4 \end{array} \right.$$

где  $u_1 = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$  – напряжение питающей сети;  $U_m$  – амплитуда напряжения;  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота;  $f$  – частота сети;  $\varphi_0$  – начальная фаза;  $t$  – время;  $\Psi_1, i_1$  – потокосцепление и ток первичной обмотки;  $i_2, i_3$  – токи вторичных обмоток;  $i_{св}$  – сварочный ток;  $r_1, r_2, r_3$  – активные сопротивления первичной и полукатушек вторичных обмоток;  $r_{d2}, r_{d3}, r_{d4}$  – сопротивления вентилях VS5, VS6 и VD1, VD2, VD3, VD4;  $U_d$  – напряжение дуги;  $r_k$  – сопротивление сварочного кабеля;  $e_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt}$  – ЭДС катушки 2 (обмотки ОН);  $e_3 = -\frac{d\Psi_3}{dt}$  – ЭДС катушки 3;  $e_4 = -\frac{d\Psi_4}{dt}$  – ЭДС катушки 4;  $(e_3 + e_4)$  – ЭДС обмотки ОВ;  $\Psi_2, \Psi_3, \Psi_4$  – потокосцепления катушек 2, 3 и 4;  $k_2, k_3$  – коэффициенты, учитывающие очередность следования полуволн токов обмоток ОН и ОВ;  $d_0$  – коэффициент, учитывающий отличие действующего значения напряжения дуги от среднего;  $F_1 = i_1 w_1, F_2 = i_2 w_2, F_3 = i_3 w_3$  – магнитодвижущие силы катушек;  $w_1, w_2, w_3, w_4$  – числа витков катушек;  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  – магнитные потоки среднего и крайних стержней;  $\Phi_{\sigma}$  – магнитный поток рассеяния;  $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$  – падения магнитного потенциала в среднем и крайних стержнях с прилегающими участками ярем;  $\Delta F_4 = \frac{\Phi_{\sigma}}{\Lambda}$  – падение магнитного потенциала на путях рассеяния;  $\Lambda$  – магнитная проводимость рассеяния.

Вторичные обмотки работают поочередно, в один полупериод – одна обмотка, в другой полупериод – вторая обмотка. Поэтому процессы в каждой из вторичных обмоток описываются одним уравнением, что соответствует модели с переменной структурой.

Падения магнитного потенциала в стержнях являются нелинейными функциями соответствующих магнитных потоков  $\Delta F_1 = f(\Phi_1), \Delta F_2 = f(\Phi_2), \Delta F_3 = f(\Phi_3)$  и определяются по кривой намагничивания сердечника. Кривая намагничивания аппроксимируется линейными сплайнами.

Значение  $d_0$  приближенно равно

$$d_0 = \frac{0.35}{80 + \sqrt{I_{свн}}},$$

где  $I_{свн}$  – номинальный (максимальный) сварочный ток по действующему значению.

Потокосцепления катушек связаны с магнитными потоками соотношениями

$$\Psi_1 = \Phi_1 w_1, \quad \Psi_2 = \Phi_2 w_2, \quad \Psi_3 = \Phi_3 w_3, \quad \Psi_4 = \Phi_4 w_4.$$

Вольт-амперные характеристики вентилях в открытом состоянии аппроксимируются зависимостью  $U_d = k\sqrt{i}$ , где  $k = const$ .

На основе разработанной математической модели создана программа расчета переходных процессов и выполнены расчеты электромагнитных процессов в сварочном устройстве при разных углах открытия тиристоров.

Программа выполняет расчёт мгновенных значений токов, напряжений, ЭДС и магнитных потоков, строит графики изменения этих величин во времени, определяет максимальные и действующие значения токов и напряжений, рассчитывает КПД, коэффициент мощности, потребляемую мощность устройства, мощность сварочной дуги и коэффициент искажения, потребляемого из сети тока.

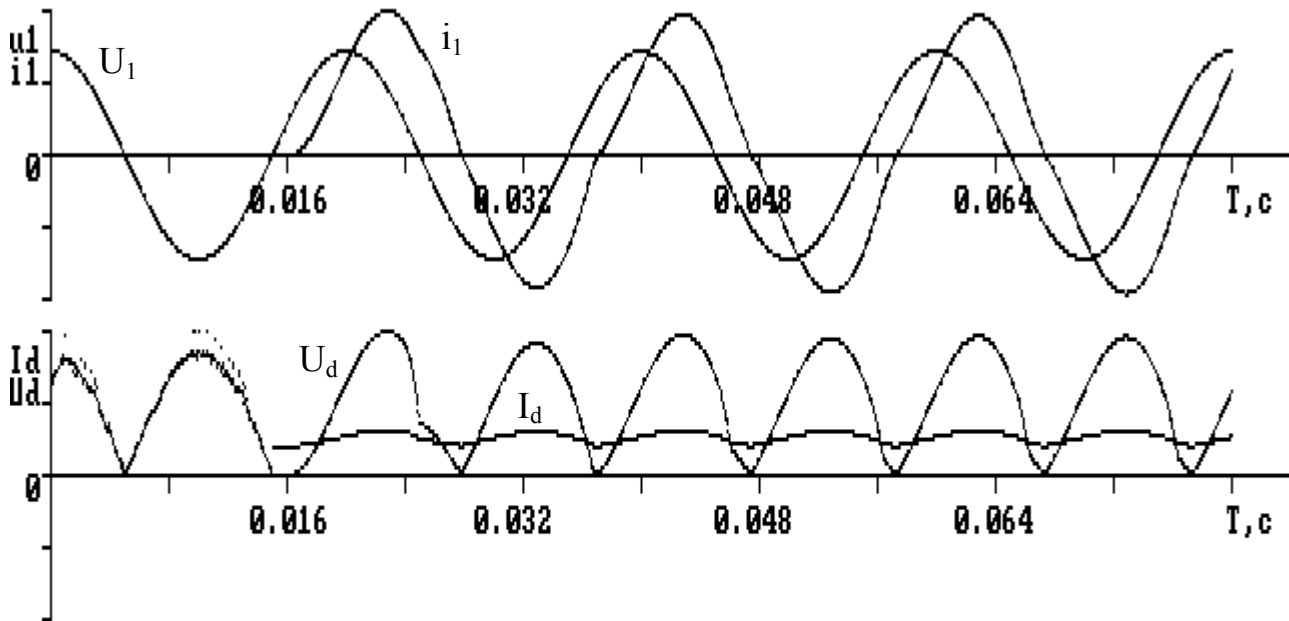
### **Результаты расчёта и их анализ**

На рис. 3-5 приведены результаты расчёта электромагнитных процессов в сварочном устройстве с номинальным сварочным током 160 А.

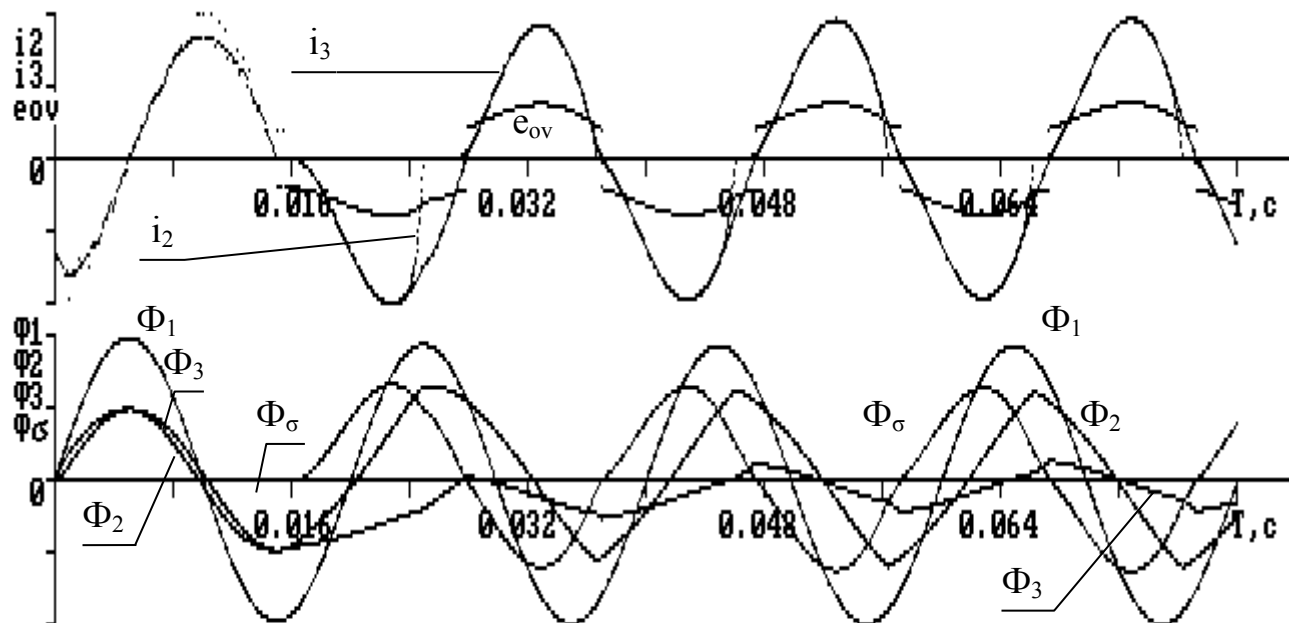
При работе в номинальном режиме ( $\alpha = 0$ ) рабочие свойства наилучшие, КПД равен 0,817, коэффициент искажений близок 0,9974 при  $I_{свн} = 160$  А. Наблюдается небольшое различие токов полуобмоток вторичной обмотки. Полная потребляемая мощность (около 7кВА). Магнитные потоки в крайних стержнях изменяются несинусоидально, практически пилообразно, что объясняется нелинейностью вольт-амперной характеристики дуги.

При изменении угла управления тиристорами (от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ ) производится регулирование сварочного тока от 160 до 57 А. При  $\alpha = 30^\circ$  обеспечивается  $i_{св} = 94,6$  А и уменьшение коэффициента мощности и незначительное увеличение КПД. Максимум магнитного потока наблюдается в номинальном сварочном режиме, при КЗ или изменении угла управления тиристорами происходит снижение магнитного потока, но снижение незначительное. Также наблюдаются некоторые искажения магнитных потоков, обусловленные снизившимся коэффициентом мощности. При регулировании КПД незначительно увеличивается, коэффициент мощности заметно уменьшается, что объясняется увеличением отставания по фазе тока дуги от ЭДС вторичных обмоток. С ростом угла открытия тиристоров потребляемый из сети ток искажается, но не сильно.

При коротком замыкании наблюдаются максимальные значения сварочного, первичного, вторичного токов, токов полуобмоток вторичной обмотки (токи равные), а также максимальные значения магнитного потока (незначительное увеличение по сравнению с другими режимами работы) и полной потребляемой мощности (около 11 кВА); низкий коэффициент мощности и КПД = 0. Как показал расчёт, ток короткого замыкания в 1,8 больше  $I_{свн} = 160$  А.



Максимумы токов  $i_{1m} = 48.4 \text{ A}$ ,  $i_{dм} = 246.1 \text{ A}$ , напряжения дуги  $U_{dм} = 98.14 \text{ В}$ .  
 Первичный ток  $i_1 = 31.6 \text{ A}$ . Сварочный ток  $I_d = 160.1 \text{ A}$ .  
 Напряжение дуги  $U_d = 26.30 \text{ В}$ . Мощность дуги  $P_d = 3900.6 \text{ Вт}$

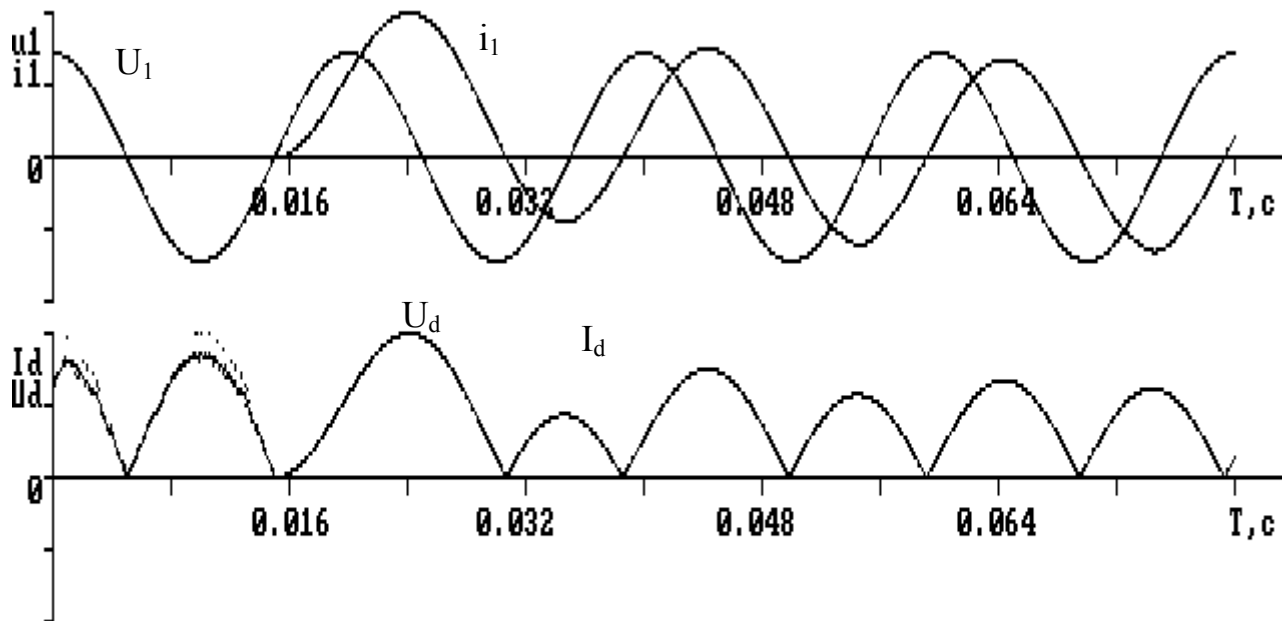


Максимум вторичного тока  $i_{2м} = 122.5 \text{ A}$ , магнитного потока  $\Phi_m = 0.0058133 \text{ Вб}$ .  
 Токи  $I_2 = 79.7 \text{ A}$ ,  $I_3 = 80.6 \text{ A}$ . Потребляемая мощность  $S_1 = 6951.8 \text{ ВА}$ .  
 КПД = 0.817. Коэффициенты мощности = 0.6866, искажений = 0.9974.

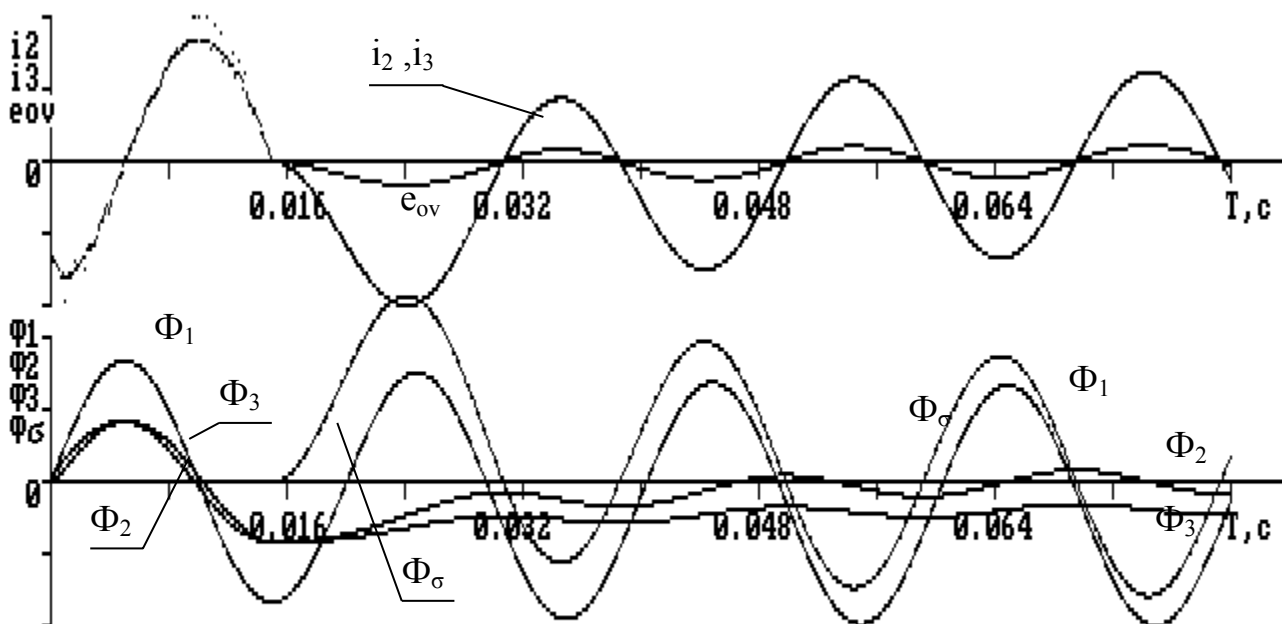
Рис. 3. Электромагнитные процессы в номинальном режиме

Размыслов В.А., Бондаренко В.А.

РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОДНОФАЗНОМ ТРЁХСТЕРЖНЕВОМ СВАРОЧНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

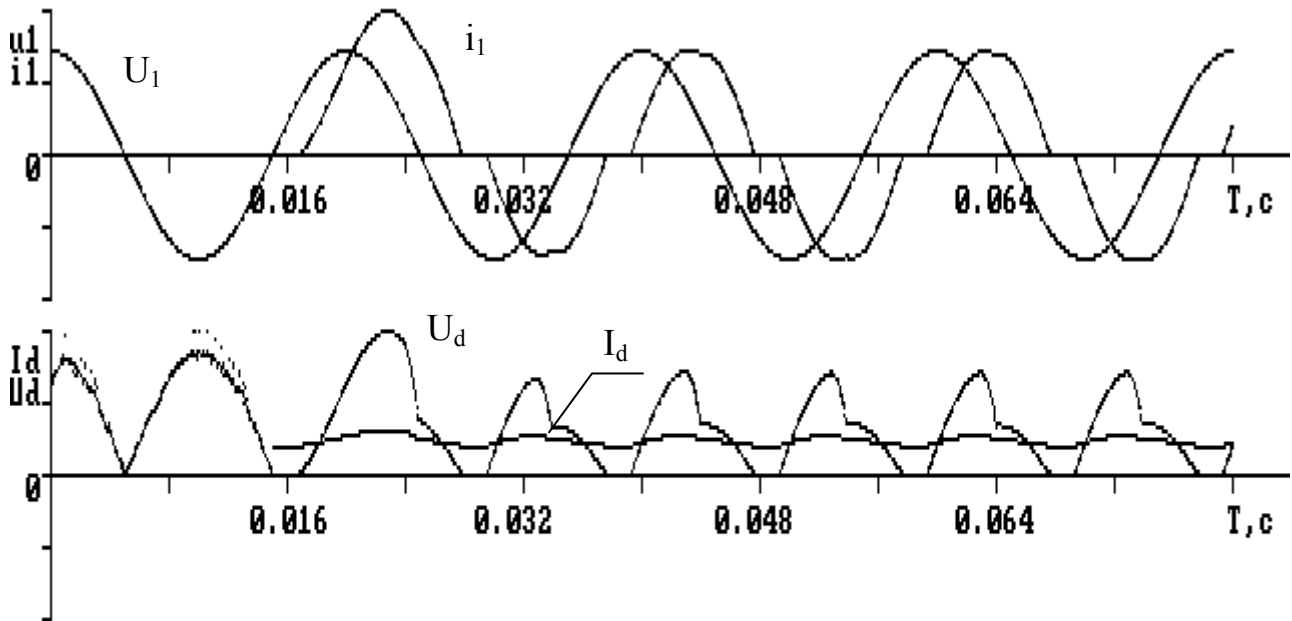


Максимумы токов  $i_{1m} = 110.5 \text{ A}$ ,  $i_{dм} = 565.1 \text{ A}$ , напряжения дуги  $U_{dм} = 98.14 \text{ В}$ .  
 Первичный ток  $i_1 = 51.3 \text{ A}$ , Сварочный ток  $I_d = 259.0 \text{ A}$ .  
 Напряжение дуги  $U_d = 0.00 \text{ В}$ . Мощность дуги  $P_d = 0.0 \text{ Вт}$

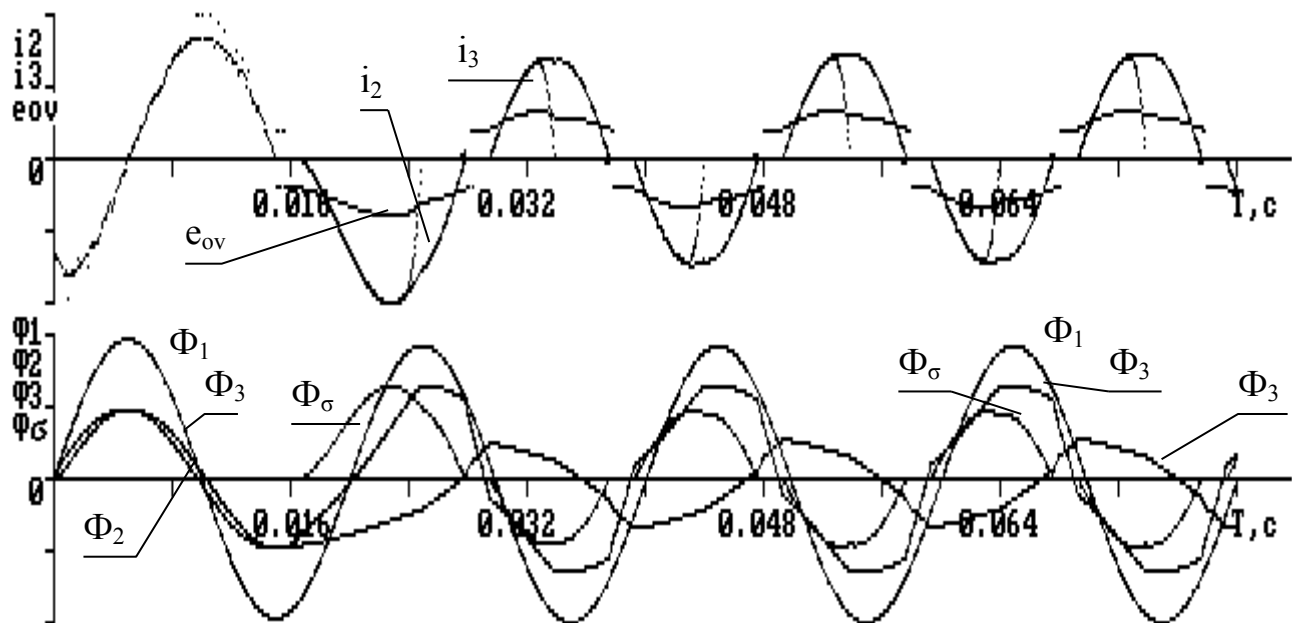


Максимум вторичного тока  $i_{2м} = 282.5 \text{ A}$ , магнитного потока  $\Phi_m = 0.0068039 \text{ Вб}$ .  
 Токи  $I_2 = 129.5 \text{ A}$ ,  $I_3 = 129.5 \text{ A}$ . Потребляемая мощность  $S_1 = 11290.3 \text{ ВА}$ .  
 КПД = 0.000. Коэффициенты мощности = 0.1878, искажений = 0.9985.

Рис. 4. Электромагнитные процессы при коротком замыкании



Максимумы токов  $i_{1m} = 47.9$  А,  $i_{dм} = 244.0$  А, напряжения дуги  $U_{dм} = 98.14$  В.  
 Первичный ток  $i_1 = 23.6$  А. Сварочный ток  $I_d = 94.6$  А.  
 Напряжение дуги  $U_d = 23.43$  В. Мощность дуги  $P_d = 1901.1$  Вт



Максимум вторичного тока  $i_{2м} = 121.4$  А, магнитного потока  $\Phi_m = 0.0058724$  Вб.  
 Токи  $I_2 = 41.0$  А,  $I_3 = 60.1$  А. Потребляемая мощность  $S_1 = 5185.4$  ВА.  
 КПД = 0.823. Коэффициенты мощности = 0.4454, искажений = 0.9885.

Рис. 5. Электромагнитные процессы в номинальном режиме при угле управления вентилями  $\alpha = 30^\circ$

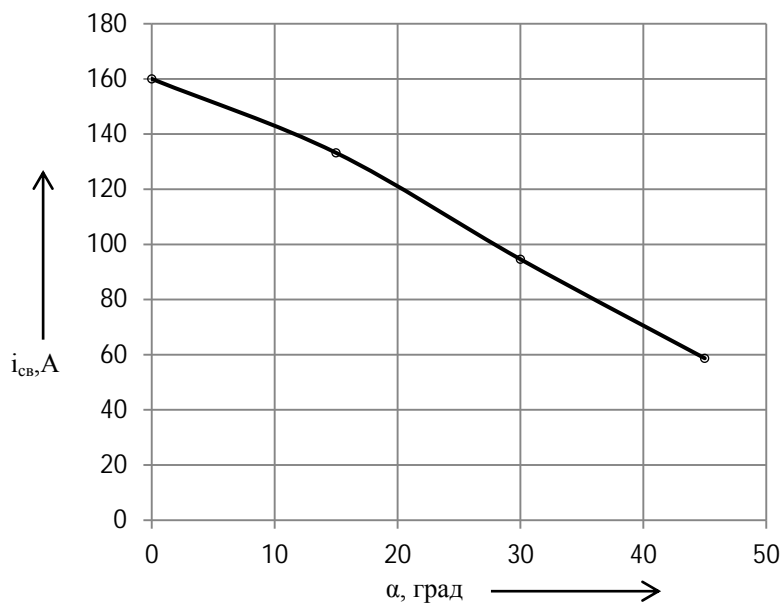


Рис. 6. Зависимость сварочного тока от угла управления тиристорами  $\alpha$

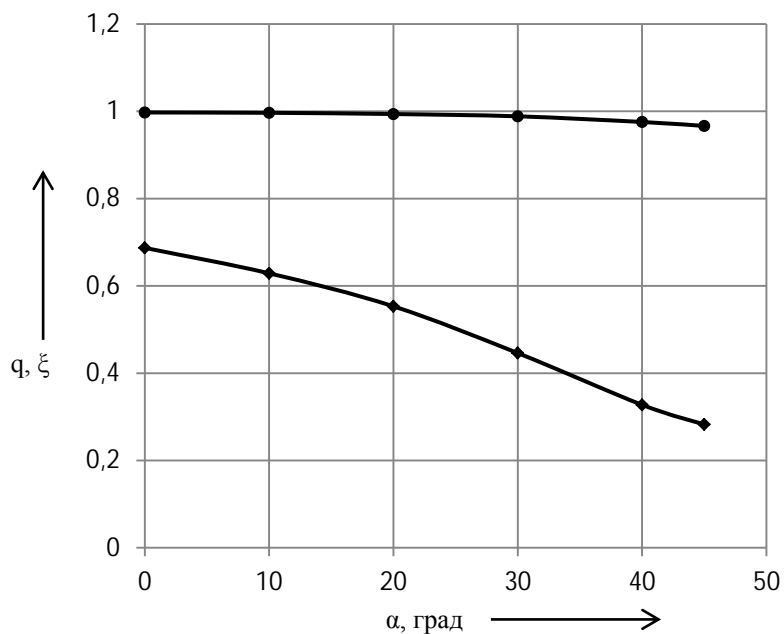


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности  $q$  и коэффициенты искажений  $\xi$  от угла управления тиристорами  $\alpha$

**Зайков В. И.**  
**V.I.Zaykov**

### **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА СЕРИИ DLDPM12-655-25**

### **METHODS FOR MEASURING THE RADIATION PATTERN OF A SEMICONDUCTOR INJECTION LASER OF DLDPM12-655-25 SERIES**



**Зайков Валерий Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление недвижимостью и кадастры» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Котовского, д. 8, кв.17. E-mail: [valerii\\_zaikov@mail.ru](mailto:valerii_zaikov@mail.ru)

**Mr. Valery I. Zajkov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Property Management and Cadastre, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur) 681013, Komsomolsk-on-Amur, 8 street Kotovskiy, apt.17. E-mail: [valerii\\_zaikov@mail.ru](mailto:valerii_zaikov@mail.ru)

**Аннотация.** Разработан метод и представлены результаты измерения параметров диаграммы направленности излучения лазерного модуля серии DLDPM12-655-25. Полученные результаты могут быть использованы для разработки оптических систем, преобразующих лазерное излучение.

**Summary.** The method is developed and results are presented of the measurement of parameters of a directional radiation pattern of a laser module, series DLDPM12-655-25. The received data can be further used for development of optical systems that can transform laser radiation.

**Ключевые слова:** полупроводниковый лазерный модуль, режим генерации, ширина диаграммы направленности, расходимость лазерного излучения.

**Key words:** semi-conductor laser module, oscillation mode, directional pattern width, divergence of laser radiation.

УДК 535.8:621.373.8

Диаграмма направленности излучения относится к пространственным параметрам лазерного пучка и определяет зависимость распределения интенсивности (энергии) излучения по угловым направлениям в заданной системе координат. Вид диаграммы направленности в значительной степени зависит от конфигурации оптического резонатора и обусловлен дифракционными эффектами на его выходном зеркале. В связи с этим, исследование диаграммы направленности как пространственно-энергетического параметра, определяющего зависимость распределения интенсивности излучения по угловым направлениям, имеет смысл рассматривать в дальней зоне лазерного излучения (зоне Фраунгофера), которая характеризуется независимостью относительных распределений амплитуды и фазы от расстояния. Конфигурация оптического резонатора инжекционного полупроводникового лазера с достаточной степенью приближения соответствует плоскому резонатору с зеркалами прямоугольной апертуры. При этом в качестве апертуры резонатора следует рассматривать зону излучения, ограниченную размерами  $l_x$  и  $l_y$  на торцевой поверхности активного слоя полупроводникового инжекционного лазера. Методика расчета интенсивности излучения по угловым направлениям в этом случае предполагает решение двумерной задачи.

В этом случае исходными данными для расчета являются углы дифракции  $\theta_x$  и  $\theta_y$ , характеризующие ширину диаграммы направленности относительно оси  $OX$  и  $OY$ . Если рассматривать процесс излучения как дифракцию плоской монохроматической волны на прямоугольном отверстии, то аналитическая зависимость, характеризующая распределение интенсивности в дальней зоне по угловым направлениям может быть получена в виде [1]:

$$I_{\theta_x, \theta_y} = I_0 \left( \frac{\sin u_1}{u_1} \right)^2 \left( \frac{\sin u_2}{u_2} \right)^2, \quad (1)$$

где

$$u_1 = \frac{\pi l_x}{\lambda} \sin \theta_y, \quad u_2 = \frac{\pi l_y}{\lambda} \sin \theta_x.$$

Значения углов  $\theta_x$  и  $\theta_y$  определяют ширину диаграммы направленности лазерного излучения в дальней зоне на первые дифракционные минимумы:

$$\sin \theta_y \approx \theta_y = \frac{\lambda}{l_x}, \quad \sin \theta_x \approx \theta_x = \frac{\lambda}{l_y}. \quad (2)$$

Для расстояния  $L_z$ , которое соответствует дальней зоне анализа амплитудно-фазового распределения лазерного излучения, при дифракционном ограничении на апертуре прямоугольного отверстия должно выполняться неравенство в виде [2]:

$$L_z \gg \frac{l_x l_y}{\lambda}. \quad (3)$$

Представленные соотношения (1) и (2) позволяют выполнить необходимый анализ распределения интенсивности излучения полупроводникового инжекционного лазера по угловым направлениям и оценить ширину диаграммы направленности лишь в рамках принятых ограничений для случая дифракции плоской монохроматической волны на отверстии прямоугольной формы. В реальных условиях характер распределения энергии при излучении полупроводникового инжекционного лазера в плоскости торцевой поверхности активного слоя может существенно отличаться от аналога, принятого в качестве модели.

Исследование зависимости распределения интенсивности (мощности) излучения по угловым направлениям осуществляется с помощью угломерного устройства, выполненного на базе оптического теодолита типа 2Т-30. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Конструкция устройства должна обеспечивать возможность установки лазерного модуля таким образом, чтобы зона излучения на торцевой поверхности активного слоя располагалась в точке пересечения вертикальной и горизонтальной оси вращения теодолита. В этом случае ошибка в измерении углов расходимости в двух взаимно перпендикулярных плоскостях будет минимальной. Для измерения интенсивности (средней мощности) излучения применяется фотоэлемент с максимальной чувствительностью в данной области спектра. Схема подключения регистрирующего прибора к фотоэлементу в этом случае может быть пассивной.

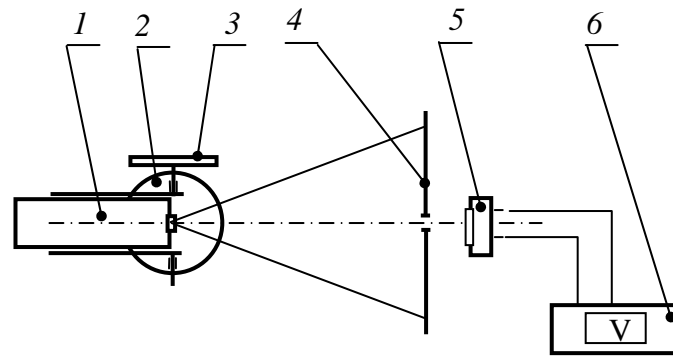


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования диаграммы направленности излучения:

- 1 – лазерный модуль DLDPМ12-655-25; 2, 3 – угломерные устройства;  
4 – экран с диафрагмой; 5 – фотодиод ФД-24; 6 – регистрирующее устройство

Методика экспериментальной оценки ширины диаграммы направленности излучения полупроводникового инжекционного лазера DLDPМ12-655-25 заключается в последовательном определении зависимости между относительной мощностью (интенсивностью) излучения и значениями углов  $\theta_x$  и  $\theta_y$ .

Поскольку поперечное сечение лазерного пучка характеризуется двумя осями симметрии, то для однозначной трактовки результатов измерений вводится следующая прямоугольная система координат:

- начало координат задается в центре поперечного сечения лазерного пучка;
- ось  $OX$  совпадает с горизонтальной осью симметрии поперечного сечения лазерного пучка;
- ось  $OY$  совпадает с вертикальной осью симметрии поперечного сечения лазерного пучка;
- ось  $OZ$  проходит через центр поперечного сечения лазерного пучка и ориентирована по оси диаграммы направленности. Изображение поперечного сечения лазерного пучка в заданной системе координат показано на рис. 2.

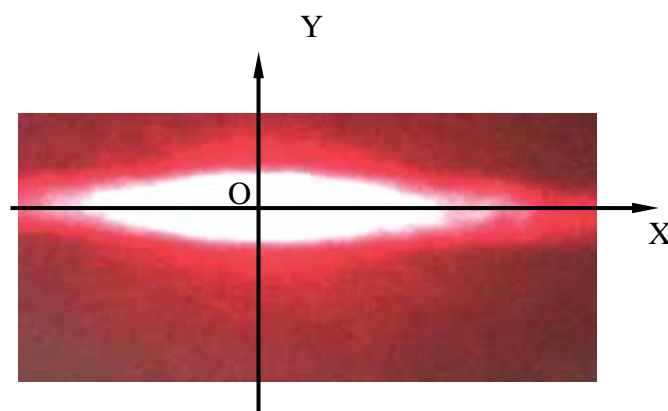


Рис. 2. Изображение поперечного сечения лазерного пучка в заданной системе координат

Таким образом, в ходе предварительной настройки экспериментальной установки при закреплении лазерного модуля в угломерном устройстве необходимо обеспечить согласование осей симметрии поперечного сечения лазерного пучка относительно вертикальной и горизонтальной осей вращения теодолита. Так, например, если в исходном положении горизонтальная ось симметрии поперечного сечения лазерного пучка ориентирована перпендикулярно вертикальной оси вращения теодолита, то отсчет дискретных значений угла  $\theta_x$  производится по горизонтальному кругу, а отсчет дискретных значений угла  $\theta_y$  – по вертикальному кругу теодолита. Исходное положение оси диаграммы направленности, которому соответствует начальный (нулевой) отсчет, фиксируется в момент получения максимального сигнала на регистрирующем приборе при наведении лазерного пучка на фотоэлемент.

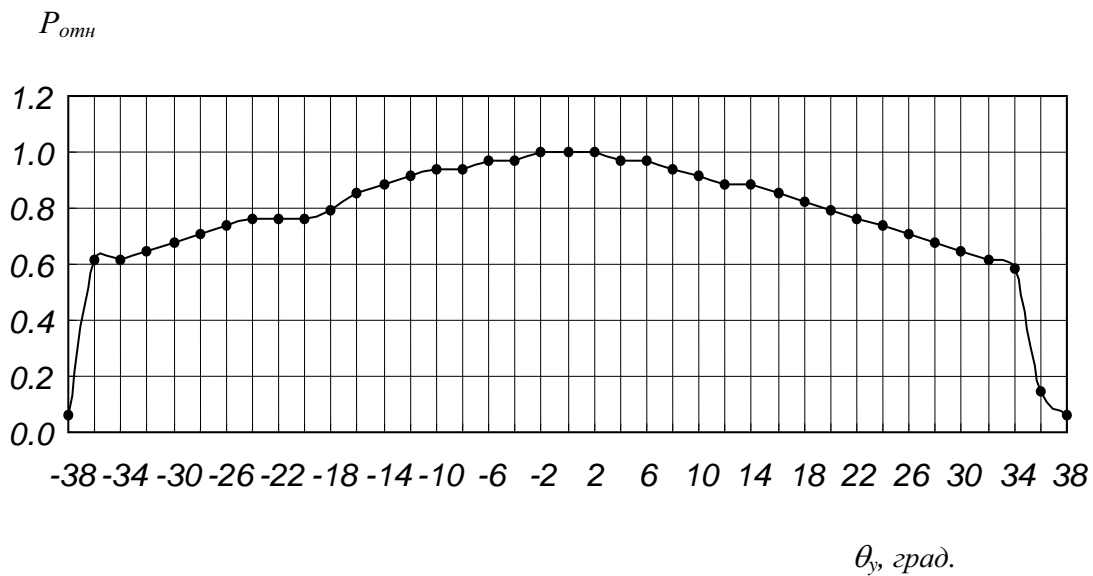


Рис. 3. Относительное распределение энергии в поперечном сечении лазерного пучка по угловым направлениям относительно оси OY

В соответствии с предлагаемой методикой выполнено многократное измерение параметров зависимости  $P_{отн} = f(\theta_x, \theta_y)$  для полупроводниковых инжекционных лазеров серии DLDPM12-655-25. Полученные результаты в графическом виде представлены на рис. 3 – 4.

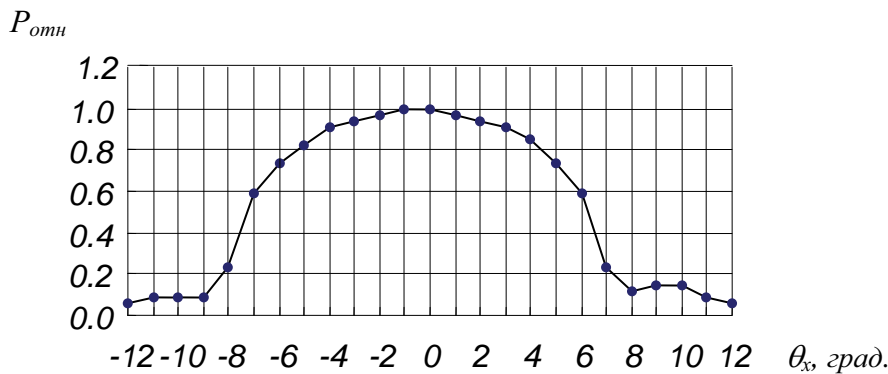


Рис. 4. Относительное распределение энергии в поперечном сечении лазерного пучка по угловым направлениям относительно оси OX



При оценке характера зависимости относительного распределения энергии в поперечном сечении лазерного пучка по угловым направлениям относительно осей симметрии следует отметить, что существенное различие в ширине диаграммы направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях в целом не нарушает гомоцентричности исходного лазерного пучка. Использование двухкомпонентной центрированной оптической системы абберационного типа для формирования протяженного лазерного пучка интерференционной структуры может привести к дополнительным энергетическим потерям. Однако изначально достаточно высокая мощность излучения полупроводникового лазерного модуля серии DLDPM12-655-25 позволяет в определенной степени пренебречь уровнем данных потерь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калитеевский, Н. И. Волновая оптика / Н. И. Калитеевский. – М.: Высшая школа, 1978. – 383 с.
2. Зайков, В. И. Метод контроля пространственной размерной увязки с применением протяженных лазерных пучков интерференционной структуры: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зайков Валерий Иванович. – Л., 1990 – 180 с.

**Тихомиров В. А., Александров С. Ю.**  
**V.A.Tikhomirov, S.Y.Aleksandrov**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАССИРОВКИ ЭЛЕКТРОЖГУТОВ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**CABLE ROUTING AUTOMATION IN MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS**



**Тихомиров Владимир Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

**Mr. Vladimir A. Tikhomirov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Software and Computing Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: kmopevm@knastu.ru



**Александров Сергей Юрьевич** – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sandrov@mail.ru.

**Mr. Sergey Y. Aleksandrov** – PhD Candidate, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: sandrov@mail.ru

**Аннотация.** В статье описываются алгоритм и его программная реализация для автоматизации поиска расположения трасс электрожгутов в сложных машиностроительных изделиях. Приводится общая математическая модель алгоритма трассировки электрожгута и нахождения множества клемм, расположенных на искомой трассе. Описывается программный модуль, используемый при тестировании и наладке функционирования электросистем, позволяющий резко сократить временные затраты на выполнение названных операций.

**Summary.** The paper describes an algorithm and its software implementation for automation of electric cable routing in complicated mechanical engineering products. A general model of the algorithm is proposed for cable routing and finding many connection terminals existing on the rout being searched. A software module is described that is used for check-up and maintenance/adjustment of electric systems; the module helps sharply reduce time spent on these operations.

**Ключевые слова:** электрожгут, трасса электрожгута, алгоритм обработки графа, математическая модель, программный модуль.

**Key words:** electric cable, cable routing, graph processing algorithm, mathematical model, software module.

УДК 32.973.26

Изделия специального машиностроения часто содержат множество блоков электрического и электронного оборудования, наладка и испытания которого требуют многократного поиска трасс, соединяющих клеммы этого оборудования [4]. Количество агрегатов в таких изделиях может достигать тысяч единиц, а количество клемм на них – десятки тысяч. Выполнять поиск контролируемых трасс по бумажным электросхемам оборудования – долго и не эффективно. Таким образом, разработка программных средств автоматизации процесса

поиска трасс проводов, соединяющих заданные клеммы заданных агрегатов, является задачей актуальной для повышения эффективности контрольно-наладочных работ в сфере общего и специального машиностроения [3].

### Математическая модель алгоритма поиска трасс электрожгутов

В общем случае раскладка трасс жгутов электрооборудования машиностроительного изделия может быть промоделирована сетевым неориентированным графом (см. рис. 1), в узлах которого находятся клеммы –  $k$ . Клеммы принадлежат определенным агрегатам –  $A$ , так что, с математической точки зрения, можно говорить о некотором множестве агрегатов  $A\{a_i\}$ , где  $i$  – индекс агрегата, пробегает значения от 1 до  $n$  – количества агрегатов в системе изделия.

В свою очередь, каждый агрегат (элемент множества)  $a_i$  содержит множество клемм  $K_i\{k_{ij}\}$ , где  $j$  – индекс клеммы, пробегает значения от 1 до  $m_i$  – количество клемм в агрегате с индексом  $i$ .

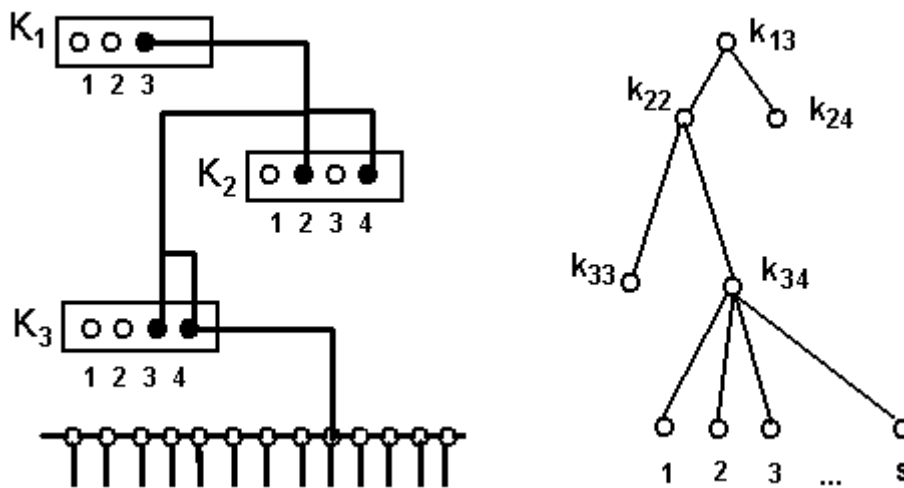


Рис. 1. Схема и граф трассы, соединяющей заданную клемму в электрической цепи изделия

Задача определения трассы, связывающей заданную клемму  $k_{rp}$  с клеммами других агрегатов, может быть записана как поиск бинарного отношения  $T$ , определенного на множестве клемм агрегатов:

$$T_{rp} \subset \prod_{i=1}^n K_i \text{ при } k_{ij} = k_{rp}, \text{ где } 1 \leq r \leq n \text{ и } 1 \leq p \leq m_r \quad (1)$$

и означающего, что во множество  $T$  попадут только те пары множеств  $K_i$ , между элементами которых имеет место указанное отношение. Множество  $T$  будем называть трассой клеммы  $k$ , а пары соединённых клемм в этой трассе – сегментами трассы. В электросистему контролируемого изделия, как правило, входит множество трасс.

Для практического использования выражения (1) при построении алгоритмов поиска трасс электрожгутов требуется дополнительно описание графа соединений (см. рис. 1) в виде некоторой матрицы, определяющей эквивалентность (трассу соединений) элементов множеств. Бинарное отношение (1) может быть задано  $(n, m_{max})$  – матрицей (таблицей), в которой элемент (клемма)  $k_{ij}$ , стоящий на пересечении  $i$ -й строки (номер агрегата) и  $j$ -го столбца (номер клеммы), равен 1, если эта клемма связана с заданной исходной клеммой  $k_{lp}$  искомой трассы, то есть имеет место отношение  $T$ , или 0 в противном случае. Например, для графа, представленного на рис. 1, такая матрица отношения для контакта  $K_{13}$  будет иметь вид:

$$M_{13} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{Bmatrix},$$

а само отношение (трасса), в случае его полного представления, примет вид:

$$T_{13} = \{(k_{13}, k_{22}), (k_{13}, k_{24}), (k_{22}, k_{33}), (k_{22}, k_{34})\}.$$

$m_{max}$  в этом примере (максимальное количество клемм на агрегате изделия) равно 4.

В общем случае описанные рассуждения запишутся уравнением:

$$T_{ij} = \{k \mid M_{ij} = 1\}.$$

Если внимательно посмотреть на схему рис. 1, то явно видно, что рассматриваемая трасса после клеммы  $K_{34}$  тянется дальше, разветвляясь на множество других направлений. Это характерно при выходе трассы, например, на корпус изделия. Очень часто при исследовании трассировки такие ответвления не представляют интереса и должны быть исключены из автоматизированного поиска. Тогда на соответствующую клемму в алгоритме поиска трассы накладывается «блокировка» и считается, что начиная с этой клеммы не может существовать ни одной трассы:

$$T_{bp} \subset \prod_{i=1}^n K_i \equiv \emptyset \text{ если } k_{ij} \in B,$$

где  $B$  – множество заблокированных клемм.

Не редко граф, описывающий структуру контролируемой электросети, носит циклический характер [2] (см. рис. 2).

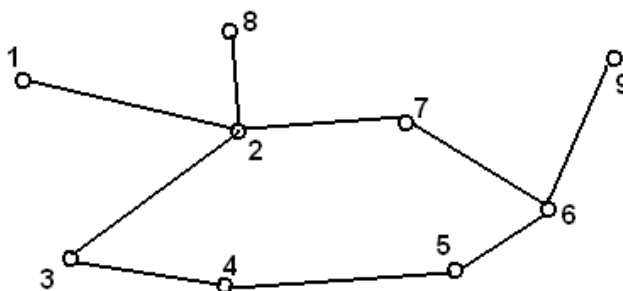


Рис. 2. Циклический граф трассировки электрожгута

Чтобы алгоритм автоматизированного поиска трасс не заиклился на таких кольцах, в математическую модель алгоритма следует ввести еще одно ограничение: блокирование повторного обхода ребра графа независимо от направления этого обхода:

$$\text{если } T_{rp} \subset K_r \times K_p, \text{ то } T_{pr} \subset K_p \times K_r \equiv \emptyset.$$

Для реализации такой блокировки в ходе выполнения алгоритма поиска трассы электрожгута необходимо формировать множество (массив) клемм, уже обработанных методом (1) и вошедших в искомую трассу. Это множество назовём  $P$ .

В этом случае общая математическая модель алгоритма трассировки электрожгута и нахождения множества клемм, расположенных на искомой трассе, может быть представлена уравнением

$$T_{ij} = \begin{cases} \{k \mid M_{ij} = 1\} \\ \{\emptyset \mid k_{ij} \in B\} \\ \{\emptyset \mid k_{ij} \in P\} \end{cases} \quad (2)$$

### Программная реализация алгоритма трассировки жгутов

Реализация разработанного алгоритма может быть проведена на основе базы данных, хранящей информацию о структуре графа электротрасс контролируемого изделия и множестве заблокированных клемм. В общем случае структура таблиц такой базы данных может иметь вид, представленный на рис. 3.

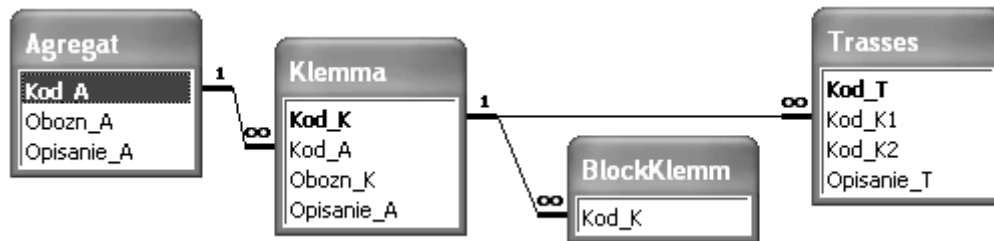


Рис. 3. Общая структура базы данных с информацией для трассировки жгутов

Основная таблица, хранящая информацию о каждом ребре графа электротрасс, – Trasses. Ребра описываются путём задания их концевых клемм. Вторая информационная таблица – BlockKlemm – хранит данные множества В, описанного выше. В полях таблиц с префиксом Opisanie\_ по необходимости может располагаться дополнительная информация для имеющихся агрегатов (таблица Agregat), клемм (таблица Klemma) и трасс (таблица Trasses).

Ядром разработанного программного модуля автоматизации поиска трасс электрожгутов по заданной клемме является процедура SearchTrasses, реализующая описанный выше алгоритм поиска через модуль. Метод алгоритма – рекурсивный обход графа с поиском в глубину. От известных подобных алгоритмов [1] он отличается наличием обработки заблокированных узлов. Графическое представление алгоритма работы процедуры SearchTrasses показано на рис. 4.

При обходе в глубину мы посещаем первый узел (клемму), а затем идем вдоль ребер графа, пока не упрямся в тупик. Узел неориентированного графа является тупиком, если мы уже посетили все примыкающие к нему узлы либо если узел является заблокированным.

После попадания в тупик мы возвращаемся назад вдоль пройденного пути, пока не обнаружим вершину, у которой есть еще не посещенный соседний узел, и двигаемся в этом новом направлении. Процесс оказывается завершенным, когда мы вернулись в отправную точку, а все примыкающие к ней вершины уже оказались посещенными.

Реализацию вычисления отношения  $T$  (формула (2)) лучше всего выполнять SQL запросом. Для рассматриваемой задачи такой запрос имеет вид:

```

SELECT Agregat.Obozn_A, Klemma.Obozn_K, Trasses.Kod_K1, Trasses.Kod_K2
FROM Trasses, Agregat INNER JOIN Klemma ON Agregat.Kod_A = Klemma.Kod_A
WHERE (((Agregat.Obozn_A)="<ОбознАгрегата>") AND
(((Klemma.Obozn_K)="<ОбознКлеммы>") AND ((Trasses.Kod_K1)=[Kod_K])) OR (((Trasses.Kod_K2)=[Kod_K]))
    
```

При каждом вызове этот запрос собирает подмножество рёбер искомой трассы для заданных в полях <ОбознАгрегата> и <ОбознКлеммы> значениях. Повторяя этот запрос в цикле для всех концевых клемм сегментов трассы, найденных на предыдущем запросе, процедура формирует полное отношение, определяющее величину  $T$  по формуле (2).

Интерфейс разработанного программного модуля автоматизированной трассировки электрожгутов представлен на рис. 5.

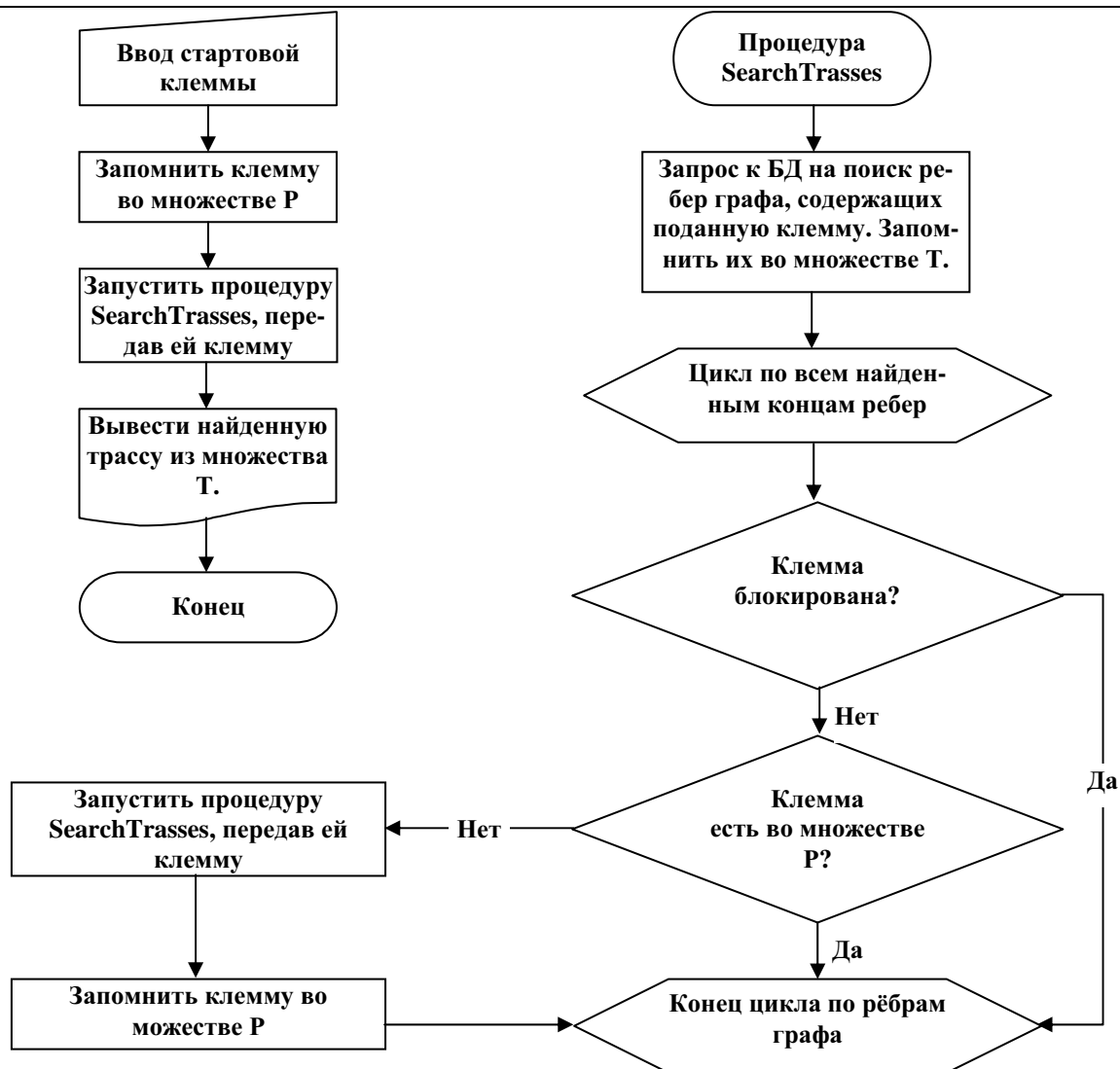


Рис. 4. Алгоритм работы модуля автоматизированного поиска электротрасс

Программный модуль поставляется в виде одного исполняемого файла (Trasses14\_13.exe) и прилагаемого к нему файла базы данных с таблицами множеств агрегатов, клемм и заблокированных клемм. Модуль разработан в среде C++ Builder 2009. Дизайн интерфейса выполнялся с использованием бесплатного набора компонентов AlphaControls v.10.1 [5]. При запуске исполняемого файла происходит автоматический поиск и подключение базы данных и открывается главное окно программы (см. рис. 5).

В полях списков 1, 2 и 3 (см. рис. 5) пользователь имеет возможность указать интересующие его, соответственно, номер электросхемы, обозначение агрегата на этой схеме и номер клеммы на агрегате для поиска трассы, в которую входит указанная клемма. Поиск основан на вышеописанном алгоритме и запускается при двойном щелчке мышью на выбранной клемме списка 3. В результате работы алгоритма в строковый компонент 4 выводится таблица рёбер графа найденной трассы (множество  $T$ ), а в окне 5 организуется вывод графического представления этой таблицы в виде прямоугольников с наименованиями найденных по трассе агрегатов и их клемм, соединенных проводниками (линиями) со связанными клеммами.

Для более тщательного изучения созданного изображения имеется виртуальная увеличительная лупа 6, перемещаемая по экрану курсором мыши. Имеется возможность распечатки результатов поиска заданных трасс как в одиночном режиме, так и в групповом, когда

на распечатку направляется несколько найденных трасс по количеству заданных на поиск клемм.

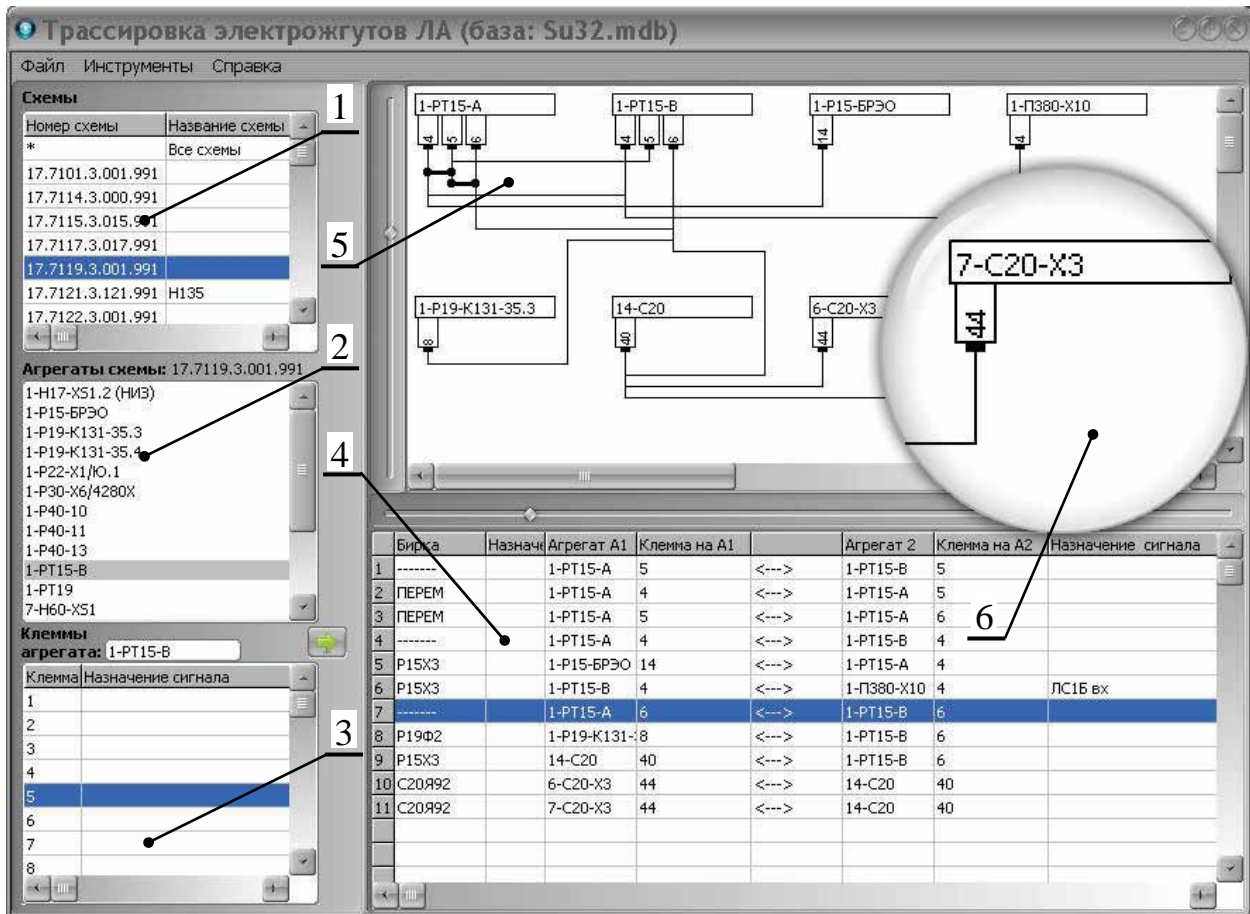


Рис. 5. Главное окно программного модуля автоматизированного поиска трасс электрожгутов

При наведении мыши на любой из прорисованных на экране сегментов найденной трассы в таблице сегментов 4 подсвечивается соответствующая строка с обозначениями оконечных клемм и агрегатов. И наоборот, при щелчке мышью на любой строке таблицы сегментов в графическом окне на экране подсвечивается соответствующий сегмент трассы.

Кроме того, при щелчке правой клавишей мыши на любом из прорисованных в графическом окне 5 агрегатов выводится дополнительная таблица (см. рис. 6) с информацией о активированном агрегате, взятая из полей базы данных с префиксом *Opisani\_*.

Скорость работы алгоритма высокая и составляет доли секунды даже при нескольких десятках тысяч записей в базе данных.

Представленная разработка внедрена в производство и используется при наладке, контроле и испытании бортовых электросистем изделий специального машиностроения.

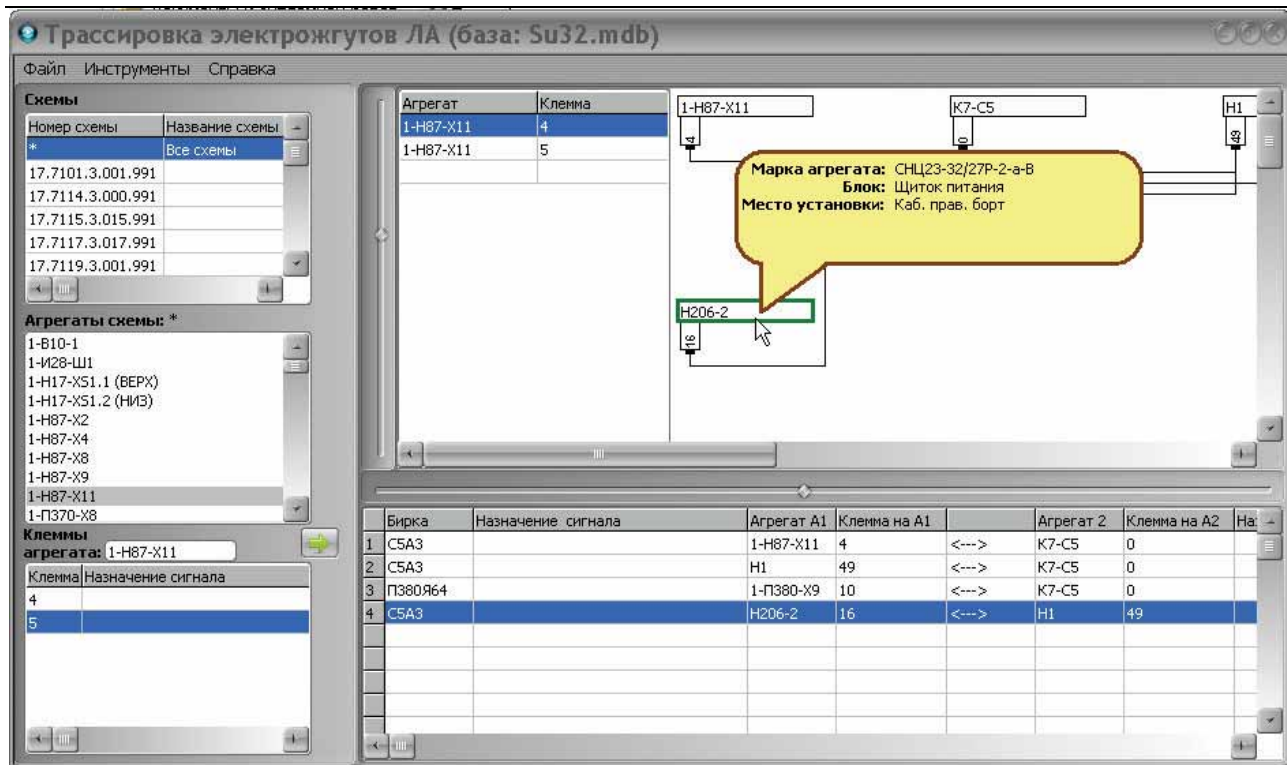


Рис. 6. Дополнительные информационные элементы программы

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алгоритмы обхода графов / Copyright © 2004-2005 «AlgoLib.narod.ru». URL: [http:// AlgoLib.narod.ru](http://AlgoLib.narod.ru). (дата обращения: 13.06.2011).
2. Бурдонов, И. Б. Неизбыточные алгоритмы обхода ориентированных графов. Детерминированный случай / И. Б. Бурдонов, А. С. Косачев, В. В. Кулямин // Программирование. – 2010. – № 4. – С. 13-19.
3. Бурдонов, И. Б. Использование конечных автоматов для тестирования программ / И. Б. Бурдонов, А. С. Косачев, В. В. Кулямин // Программирование. – 2000. – № 2. – С. 18-22.
4. Albers, S. Exploring Unknown Environments / S. Albers and M.R. Henzinger // SIAM J. Comput. – 2000. – № 4. – Vol. 29. – pp. 1164-1188.
5. Набор стандартных и некоторых уникальных компонентов AlphaControls, поддерживающих скинны. URL: [http://www.alphaskins.com/index\\_rus.php](http://www.alphaskins.com/index_rus.php) (дата обращения: 12.06.2011).

**Редколис Е. В., Бердонос В. Д.**  
**E.V.Redkolis, V.D.Berdonosov**

### **ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГЛАМЕНТОВ И ДИАГРАММ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ. РЕАЛИЗАЦИЯ**

### **DEVELOPMENT OF OPTIMAL ADMINISTRATIVE RULES&REGULATIONS AND BUSINESS PROCESS DIAGRAMS FOR THE PROVISION OF MUNICIPAL SERVICES. DESIGN. IMPLEMENTATION**



**Редколис Елена Валерьевна** – аспирант кафедры «Информационные системы» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Октябрьский, 10-58; 8 (924) 2257042. E-mail: Lulumzja@mail.ru.

**Ms. Elena V. Redkolis** – PhD Candidate, Department of Information Systems, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. 681013, Komsomolsk-on-Amur, 10 – 58, Oktyabr Pr., mobile phone: +7 (924) 2257042. E-mail: Lulumzja@mail.ru.



**Бердонос Витор Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные системы» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681024, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Интернациональный, 59-5; 8 (962) 2875141. E-mail: ktriz@knastu.ru.

**Mr. Victor D. Berdonosov** – PhD, Professor, Department of Information Systems, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. 681024, Komsomolsk-on-Amur, 59 – 5, International Av., mobile: +7 (962) 2875141. E-mail: ktriz@knastu.ru.

**Аннотация.** Статья рассматривает актуальные вопросы разработки административных регламентов и стандартов электронных услуг в рамках концепции электронного правительства в Российской Федерации и посвящена описанию результатов проектирования и реализации «FORMS» – CASE-системы, формирующей оптимальные административные регламенты и диаграммы бизнес-процессов оказания муниципальных услуг. Иллюстрируются решение алгоритмических задач в рамках разработки алгоритмов функционирования FORMS, методика определения оптимальности административных регламентов и диаграмм бизнес-процессов, модель данных и программная реализация одного из модулей FORMS, апробация результатов исследования.

**Summary.** The paper considers important issues of the development of administrative regulations and standards for e-service rendering within the concept of the e-government of the Russian Federation. The paper describes the design and development of «FORMS» (a CASE-system for the development of optimal administrative regulations and business process diagrams of municipal services rendering). Illustrated are: a) the solution of algorithmic problems within the algorithms of the CASE-system operation, b) a method for optimal computation of the administrative regulations and business process diagrams, c) a data model for and software implementation of one of the FORMS' modules; d) approbation of research results.

**Ключевые слова:** CASE, бизнес-процесс, оптимизация, административный регламент, диаграмма, алгоритм, электронное правительство.

**Key words:** CASE, business process, optimization, administrative regulation, diagram, algorithm, e-government.

УДК 004.4'22

**Введение**

В [1] рассматривалась актуальная задача разработки административных регламентов (АР) и стандартов электронных услуг (СЭУ), возникающая на стадиях «формирование требований» и «проектирование» жизненного цикла (ЖЦ) системы ЭП, выполнение которой сопровождается рядом проблем. Решение проблем предлагалось достичь посредством проектирования и разработки CASE-системы формирования оптимальных АР и диаграмм бизнес-процессов (БП) оказания муниципальных услуг (МУ) (далее FORMS) (см. рис. 1).

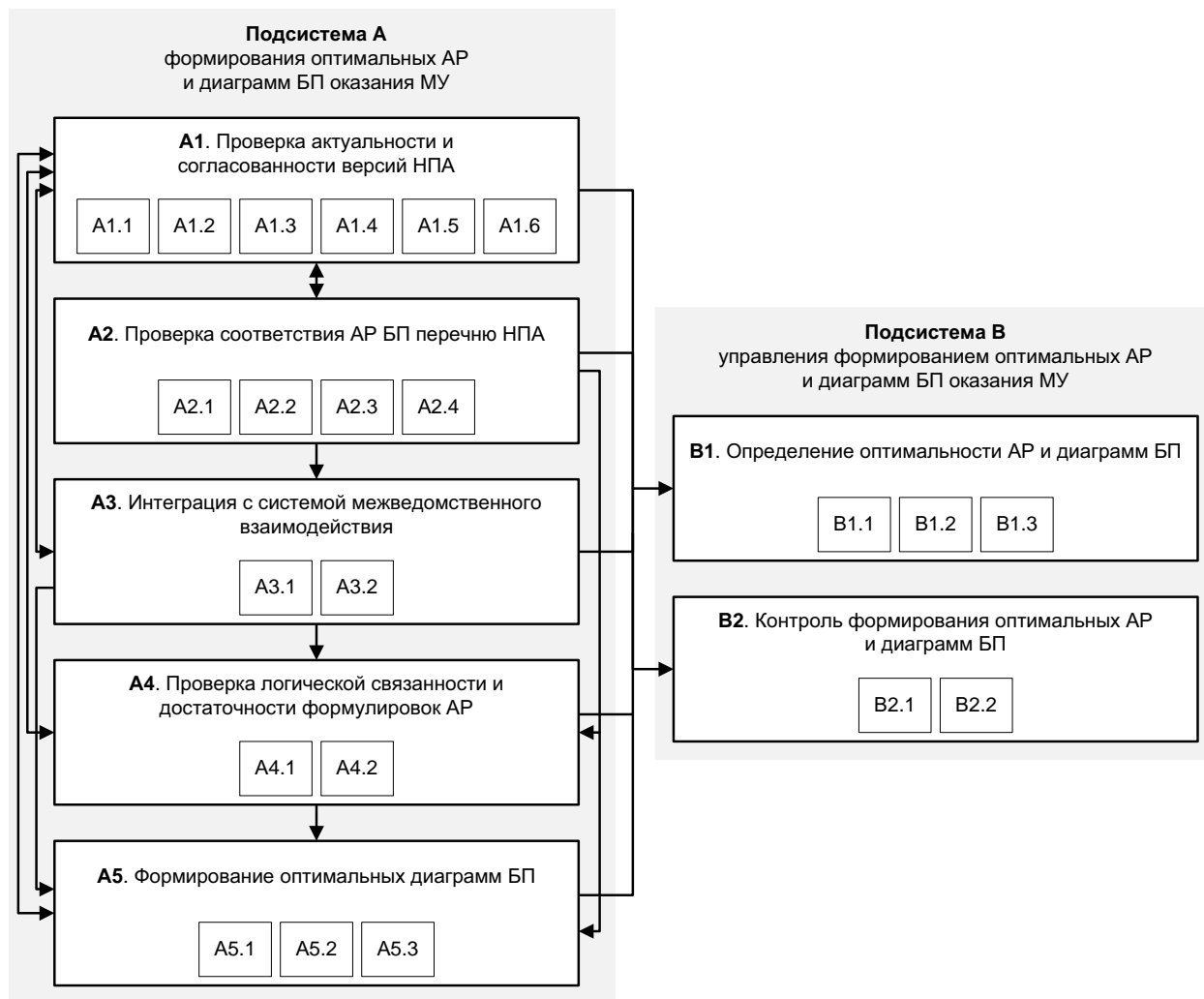


Рис. 1. Структура FORMS

Проектируемая система призвана реализовывать функционал, ранее не развитый в CASE-системах. FORMS связывает фрагменты текстов АР БП с графическими примитивами, в которых проводится моделирование БП оказания МУ, а также выполняет строковый анализ текстов нормативно-правовых актов (НПА) и АР БП с целью выявления необходимых трансформаций в текстах АР и диаграммах БП оказания МУ.

Данная статья продолжает рассматривать вопросы, затронутые в [1], и посвящена описанию процесса проектирования и реализации FORMS: решению алгоритмических задач в рамках разработки алгоритмов формирования оптимальных АР и диаграмм БП, разработке методики определения оптимальности АР и диаграмм БП оказания МУ, проектированию модели данных FORMS, программной реализации одного из модулей FORMS (на языке C# 3.0, на базе среды MS Visual Studio 2008 Express Edition 9.0, интегрируемой с MS Visio 2007), а также апробации результатов исследования.

### Алгоритмы формирования оптимальных AP и диаграмм БП

Проектирование FORMS сопровождалось разработкой алгоритмов функционирования для каждого из модулей системы (см. рис. 1). Так, в процессе работы над подсистемой FORMS-A был сформулирован ряд алгоритмических задач, для выбора способов решения которых была проанализирована эффективность широкого спектра методов (см. табл. 1).

Таблица 1

#### Алгоритмические задачи на этапе проектирования IS FORMS

Задача	Известные способы решения
1. Нахождение и извлечение больших фрагментов текста на основе задания набора искомых КС/КСС и/или предложений, абзацев	Алгоритмы сравнения с множественными аппроксимирующими паттернами [2]: <ul style="list-style-type: none"><li>- модификация алгоритма Ву и Менбера,</li><li>- фильтрационный Бейза-Ятса-Наварро</li></ul>
2. Приближенное решение задачи 1, нахождение фрагментов без учета знаков препинания, опечаток, точного совпадения форм шаблонов поиска	
3. Оценка близости / расхождения результатов поиска и заданных шаблонов	Алгоритмы вычисления расстояния между строками [2]: 1) базисная рекурсия, 2) Вагнера-Фишера, 3) Хешберга, 4) Ханта-Шиманского, 5) Укконена-Майерса
4. Организация поиска с использованием неточных шаблонов	Алгоритмы приближенного сравнения с паттерном в виде регулярных выражений [2]: <ul style="list-style-type: none"><li>- на базе недетерминированных и детерминированных конечных автоматов,</li><li>- модифицированный алгоритм Ву и Менбера</li></ul>
5. Сортировка блоков текста	Алгоритмы и методы вычисления частных паттернов на строках [2] (для формирования массивов); быстрые алгоритмы сортировки (для сортировки) [3]
6. Вставка / удаление / подстановка нового текста по шаблону в существующий	Алгоритмы и методы вычисления частных паттернов на строках совместно с аппаратом регулярных выражений [2]
7. Вставка / подстановка фиксированного блока нового текста на указанную позицию в существующем	
8. Нахождение минимальной «надстроки», содержащей все указанные строки	Алгоритмы и методы вычисления частных паттернов на строках [2]
9. Автоматический поиск и скачивание обновлений в Интернет по заданному шаблону	Встроенные функции сред программирования; алгоритмы вычисления паттернов на строках [2]
10. Учет возможных словоформ	Поиск слов по корню с использованием известных алгоритмов строкового анализа [2]
11. Деление текста на блоки	Индексный поиск для нахождения блока внутри текста в комбинации с дальнейшим прямым поиском внутри найденного блока [2]

12. Определение границ текста, являющегося фрагментом, найденным по КС/КСС	Встроенные функции среды программирования
13. Сравнение фрагментов текстов	Алгоритм нахождения наибольшей общей подпоследовательности (LCS) [2]
14. Ассоциация текстовой информации с графическими примитивами	Имеются закрытые алгоритмы и методы, лежащие в основе программных редакторов, позволяющих создавать блок-схемы по коду программы

В результате изучения известных способов решения (см. табл. 1), сравнения времени выполнения алгоритмов и объема затрачиваемой памяти для решения поставленных алгоритмических задач, лежащих в основе формирования оптимальных АР БП оказания МУ, были выбраны следующие известные алгоритмы:

1. фильтрационный алгоритм Бейза-Ятса-Наварро приближенного сравнения с множественными паттернами (задачи 1, 2).

2. алгоритм для регулярных выражений, использующий детерминированный конечный автомат (задачи 4, 6-8).

3. алгоритм Укконена-Майерса нахождения расстояния между строками (задачи 3, 13).

Задачи 5, 9-12 подробно не алгоритмизировались по причине их сравнительного не сложного и в то же время индивидуального решения средствами выбираемой на этапе программной реализации среды программирования. Также в ходе исследования был сформирован перечень задач, для которых впоследствии разрабатывались индивидуальные алгоритмы.

Регулярное обновление текстов НПА в БД FORMS приводит к соответствующему изменению текстов АР. На основе изменений в текстах АР оперативно должны изменяться и СЭУ в части диаграмм БП оказания МУ (задача 14, см. табл. 1). Для её решения был разработан индивидуальный алгоритм ассоциации текстовой информации с ГП и их свойствами, лежащий в основе программной реализации модуля FORMS-A.5 формирования оптимальных диаграмм БП. Остановимся на идее, лежащей в основе алгоритма, подробнее.

Графические примитивы (ГП) – структурные элементы графических нотаций, в которых формализованы диаграммы БП оказания МУ, извлеченные из СЭУ. Исходные диаграммы формализованы в MS Visio в нотациях IDEF3, DFD.

Для возможности однозначной ассоциации БИ из АР и объектов (их свойств) на диаграмме БП оказания МУ вводится понятие части диаграмм (ЧД). ЧД – свойства элементов графической нотации (объектов) на диаграмме, значениями которых являются фрагменты текста АР. На основе анализа текстов АР и диаграмм БП, описывающих их в СЭУ, было выделено 17 частей диаграмм.

На первой итерации алгоритма предполагается проведение «ручного» лексического разбора, в процессе которого пользователь FORMS отмечает принадлежность фрагментов текста к ЧД. Проводить такой разбор в автоматическом режиме нецелесообразно ввиду смысловой сложности, неоднозначности и противоречивости текстов АР.

В дальнейшем, после изменения текста АР, в автоматическом режиме система определяет позиции вхождений измененных фрагментов в текст АР и:

- удаляет размеченные фрагменты текста, не встречающиеся в новой редакции АР;
- изменяет формулировки размеченных фрагментов текста в случае, если текст новой редакции АР изменился в части данных фрагментов;
- добавляет в неразмеченном виде фрагменты текста, впервые встретившиеся в новой редакции АР;
- с использованием информационно-советующего механизма предлагает разметить вновь добавленные фрагменты текста.

С учетом однозначного соответствия ЧД на диаграммах БП и значений текстовых полей ЧД происходит обновление диаграмм БП. Изменения диаграмм в части добавления, удаления и переименования объектов производятся FORMS в автоматическом режиме; в части добавления, удаления и переименования свойств объектов, а также в части соединения объектов по точкам соединения между собой – при участии пользователя (см. рис. 2).

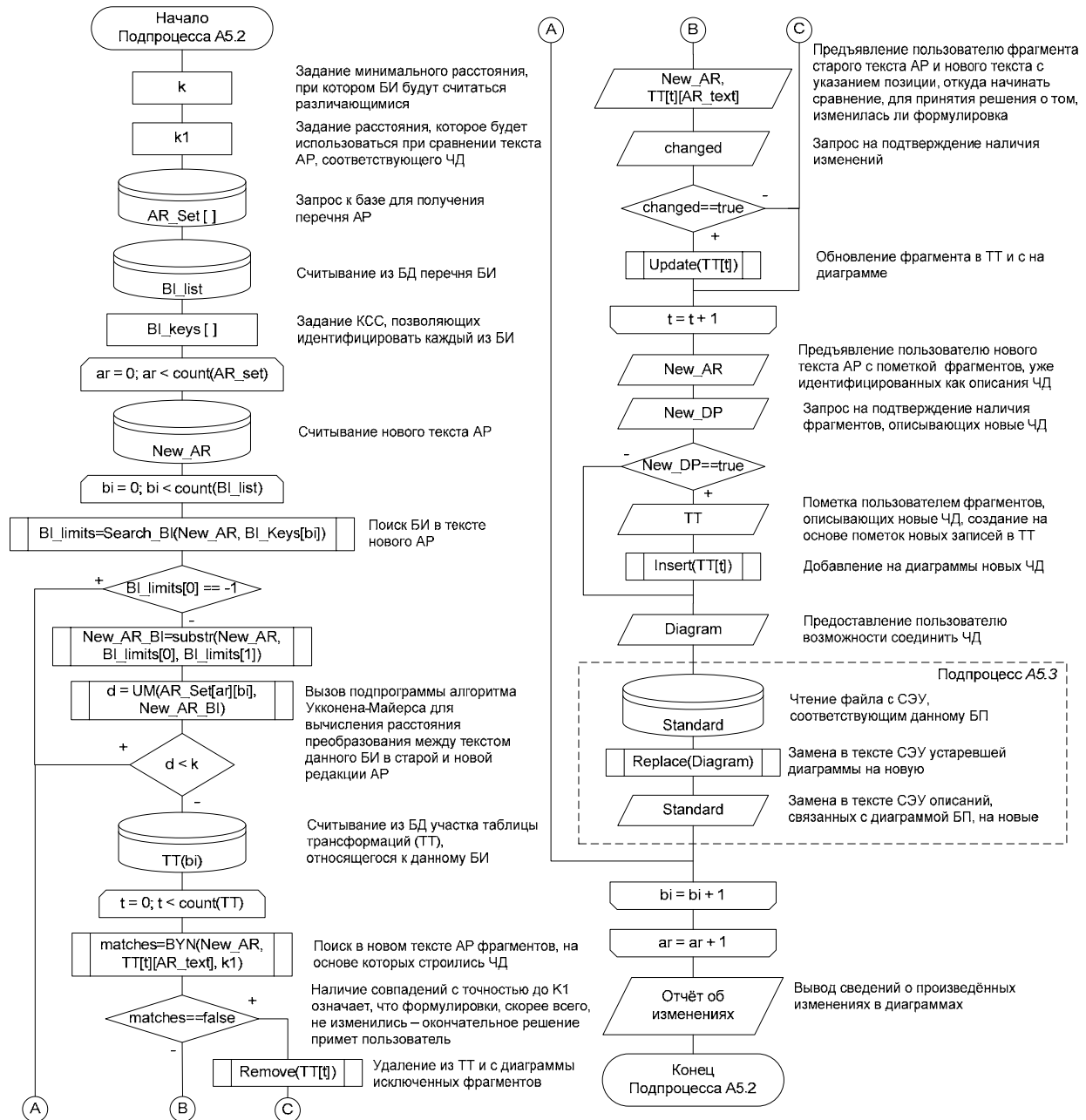


Рис. 2. Пример блок-схемы для FORMS-A5.2 «Трансформация диаграмм БП»

### Оценка оптимальности и управление в системе

Заложить в CASE-систему возможность оптимизации и не предоставить пользователю способов оценки, контроля и управления этим процессом не целесообразно. Для осуществления этих функций в ходе исследования была предусмотрена подсистема FORMS-B (см. рис. 1). Основная задача модуля FORMS-B.1 заключается в вычислении и демонстрации пользователю показателей оптимальности текстов АР и диаграмм БП и основана на *методике определения оптимальности АР и диаграмм БП оказания МУ* (далее «методика»). Задача

**Редколис Е. В., Бердонос В. Д.**  
**ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГЛАМЕНТОВ И ДИАГРАММ**  
**БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ. РЕАЛИЗАЦИЯ**

FORMS-В.2, в свою очередь, – мониторинг состояния процесса формирования оптимальных АР и диаграмм БП, сопровождающийся формированием отчетов по требованию пользователя.

Методика базируется на последовательном расчете показателей оптимальности (см. табл. 2). Входными данными для расчета служат результаты работы, полученные в рамках функционирования модулей FORMS-А.2, А.3, А.4.

Таблица 2

Показатели оптимальности АР и диаграмм БП оказания МУ

<i>OI</i>	Название	Способ вычисления	Модуль FORMS	<i>G</i>
<i>OI<sub>1</sub></i>	Актуальность перечня НПА, обеспечивающих выполнение МУ	$OI_1 = \frac{QLr}{QLnr}$	A1.1	1
<i>OI<sub>2</sub></i>	Достаточность описаний в АР	$OI_2 = \frac{QB}{QBn}$	A1.3	1
<i>OI<sub>3</sub></i>	Актуальность содержания БИ в АР	$OI_3 = \frac{CBr}{CBnr}$	A2.4	1
<i>OI<sub>4</sub></i>	Непротиворечивость содержания БИ в АР (НПА)	$OI_4 = \frac{(Qdf + Qsf + Qlf)}{Qc}$	A2.4	1
<i>OI<sub>5</sub></i>	Степень упорядоченности административных процедур и действий в АР	Сравнение последовательностей порядковых номеров БИ в АР до обновления и после с целью нахождения расстояния между ними	A4.1	0
<i>OI<sub>6</sub></i>	Избыточность формулировок в БИ	$OI_6 = \frac{QRv}{QR}$	A4.2	1
<i>OI<sub>7</sub></i>	Качество предоставления МУ	Количество рекламаций, полученных от Заявителей	По результатам «реального» оказания МУ	0
<i>OI</i>	Интегральный показатель оптимальности	$OI = \frac{OI_1 + OI_2 + OI_3 + OI_4 + OI_6}{5} + OI_5 + OI_7 \rightarrow 1$		

В табл. 2 *QLnr* – суммарное количество позиций из списка в БИ №3, требующих обновления названия НПА в БИ №3 АР и файла НПА в БД FORMS; *QLr* – количество обновленных позиций нумерованного (маркированного) списка БИ №3; *QBn* – требуемое количество БИ в АР; *QB* – количество БИ в тексте АР после обновления; *CBnr* – количество БИ в АР, требующих обновления содержания в соответствии с действующими НПА; *CBr* – количество БИ в АР с обновленным содержанием; *Qc* – количество сформулированных противоречий в содержании БИ; *Qdf* – количество удаленных противоречивых формулировок; *Qsf* – количество сокращенных избыточных формулировок; *Qlf* – количество раскрытых недостаточных формулировок; *QR* – суммарное количество дублируемых формулировок; *QRv* – количество оправданных дублирований;

$$OI = \frac{OI_1 + OI_2 + OI_3 + OI_4 + OI_6}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_6} + OI_5 + OI_7 = \frac{OI_1 + OI_2 + OI_3 + OI_4 + OI_6}{5} + OI_5 + OI_7 \rightarrow 1,$$

где  $OI_i, i = \overline{1,7}$  – фактические значения показателей оптимальности;  $G_i, i = \overline{1,7}$  – целевые значения показателей оптимальности (см. табл. 2).

Чем ближе значение *OI* к «1», тем оптимальнее сформированный АР и диаграммы БП.

Помимо возможности управлять пользователю работой FORMS в ручном и полуавтоматическом режиме, в модуле FORMS-А введены элементы автоматического управления.



### Реализация программного модуля формирования оптимальных диаграмм БП оказания МУ

В целях подтверждения работоспособности разработанных алгоритмов функционирования FORMS был реализован один из ее модулей – FORMS-A.5, представляющий наибольший интерес в силу исключительной практической значимости результатов работы модуля для пользователей FORMS – сотрудников Администрации города, занимающихся формированием текстов АР и диаграмм БП, входящих в СЭУ.

Оптимальные диаграммы БП оказания МУ формируются FORMS-A.5 на основе информации об изменениях, произошедших в текстах АР в процессе их оптимизации, с использованием механизма ассоциации текстовой информации с графическими примитивами и их свойствами. Оптимизация АР проводится в модулях А.2-А.4 FORMS на основе строкового анализа соответствия текстов АР требованиям, указанным в текстах действующих НПА. FORMS-A.5 использует результаты оптимизации в качестве входных данных.

*Функциональные возможности модуля:*

1. Загрузка для просмотра файлов АР (текущая, новая версии) и СЭУ (текущая версия) в форматах \*.doc, \*.docx;
2. Работа с диаграммами БП, извлеченными из СЭУ (\*.vsd, \*.vsdx):
  - 2.1. Просмотр результатов редактирования диаграмм в автоматическом режиме в соответствии с изменениями, произошедшими в тексте новой версии АР;
  - 2.2. Осуществление «ручных» правок результатов редактирования диаграмм в автоматическом режиме (добавить / удалить / изменить ЧД);
  - 2.3. Сохранение диаграмм в отдельных файлах MS Visio;
  - 2.4. Произвольное редактирование и пересохранение диаграмм;
  - 2.5. Удаление некоторых диаграмм из числа входящих в дерево БП (и впоследствии в измененный текст СЭУ).
3. Формирование новой версии СЭУ (обновление в тексте СЭУ диаграммы БП и пересохранение СЭУ в новый файл);
4. Формирование отчетов о работе FORMS-A.5.

Остановимся на логической модели данных FORMS-A.5 (см. рис. 3). Начиная с класса диаграммы, данные являются отражением содержимого диаграмм MS Visio. Изменения данных в классах приводят к изменениям данных на диаграммах Visio, и наоборот.

Модуль реализован на языке C# 3.0, на базе среды MS Visual Studio 2008 Express Edition 9.0, интегрируемой с MS Visio 2007 (см. рис. 4).

Помимо специально разработанных алгоритмов, в работе модуля FORMS-A.5 использованы следующие известные *алгоритмы и методы*:

- алгоритм ВУН (Бейза-Ятса-Наварро);
- алгоритм UM (Укконена-Майерса);
- алгоритм H3 (Хешберга) поиска LCS;
- методы сортировки данных по возрастанию (убыванию);
- метод поиска (обхода дерева) в глубину;
- алгоритм поиска элементов массива с помощью хэш-таблицы.

**Редколис Е. В., Бердонос В. Д.**  
**ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГЛАМЕНТОВ И ДИАГРАММ**  
**БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ. РЕАЛИЗАЦИЯ**

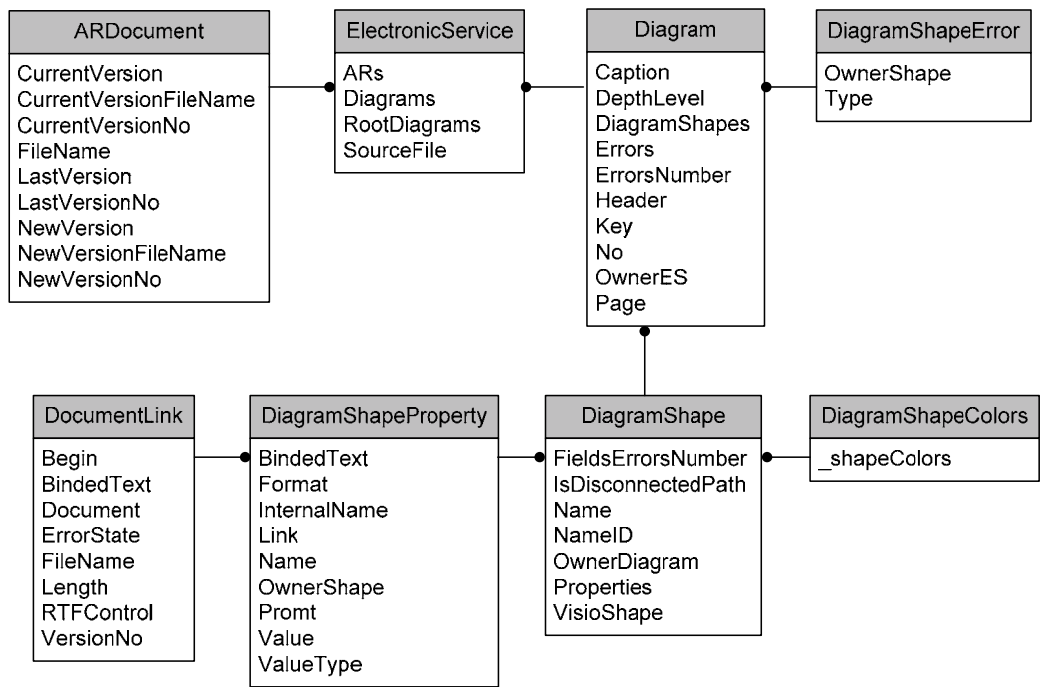


Рис. 3. Модель данных FORMS-A.5

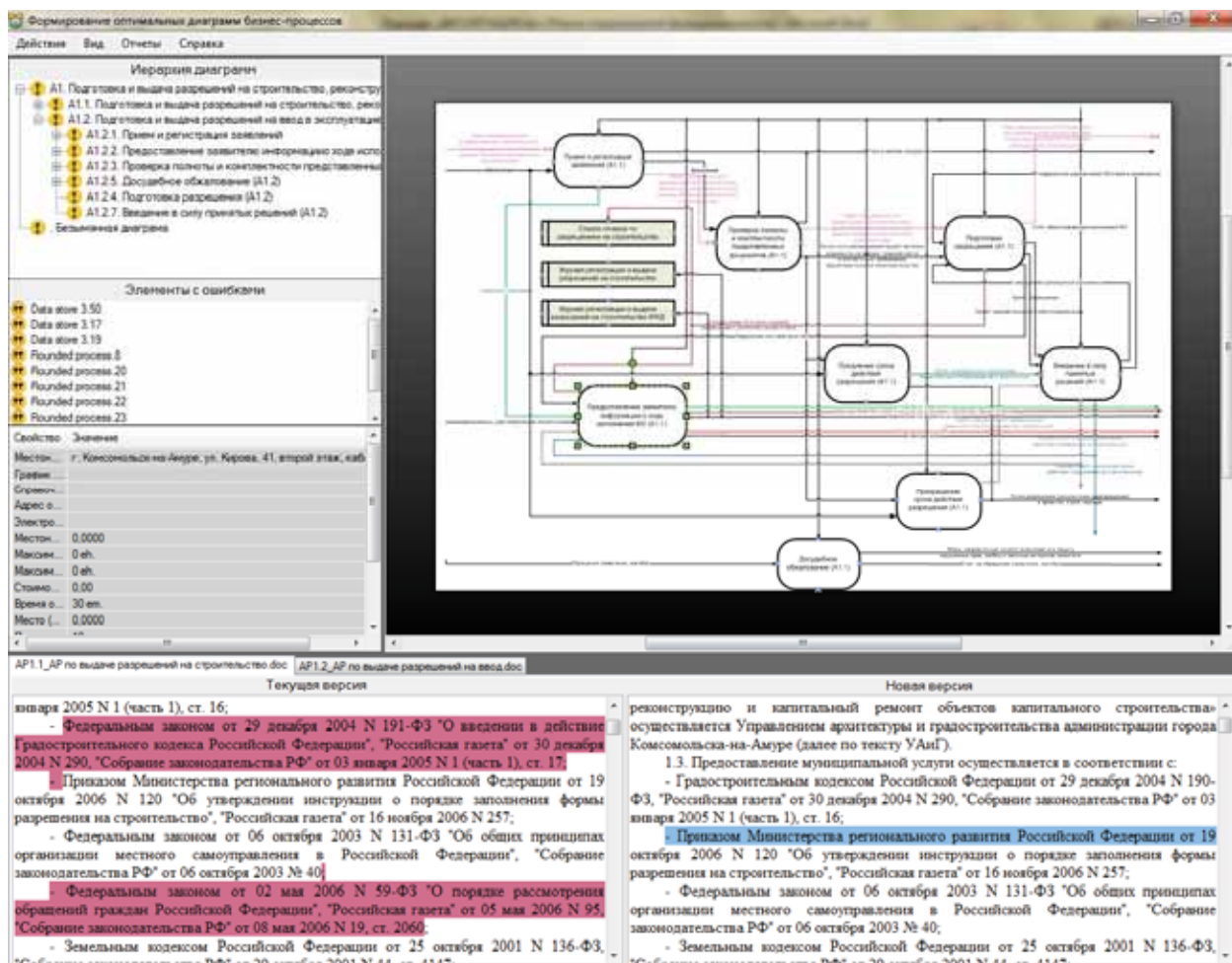


Рис. 4. Окно FORMS-A.5



### Апробация результатов исследования

В рамках исследования были разработаны алгоритмы, лежащие в основе функционирования FORMS. С целью подтверждения работоспособности созданных алгоритмов была выполнена программная реализация одного из модулей (FORMS-A.5). Промежуточные результаты, – алгоритмы и методики, – полученные в ходе исследования, нашли практическое применение на предприятиях Дальневосточного региона.

Методика определения оптимальности АР и диаграмм БП оказания МУ была использована на предприятиях проектно-строительной отрасли при разработке методики расчета показателей оптимальности деятельности проектной организации для «Системы менеджмента качества выполнения проектных работ» (в ООО ПСФ «РАПИД», г. Комсомольск-на-Амуре; ООО «Архитектурно-конструкторская компания», г. Советская Гавань; ООО «АС – Архитектурная Студия», г. Комсомольск-на-Амуре).

Разработанные в ходе исследования алгоритмы легли в основу функционирования программного модуля для автоматического формирования комплекта электронных документов открытой конкурсной заявки Поставщика (МУП «ППТС», г. Комсомольск-на-Амуре; ООО «Протон ДВ», г. Комсомольск-на-Амуре; ООО ПСФ «РАПИД» (проектно-строительная фирма), г. Комсомольск-на-Амуре).

### Заключение

Статья рассматривает актуальные вопросы разработки АР и СЭУ в рамках концепции ЭП в Российской Федерации и посвящена описанию процесса проектирования и реализации FORMS – CASE-системы формирования оптимальных АР и диаграмм БП оказания МУ.

Подробно иллюстрируются: решение алгоритмических задач в рамках разработки алгоритмов формирования оптимальных АР и диаграмм БП, методика определения оптимальности АР и диаграмм БП оказания МУ, проектирование модели данных и программная реализация одного из модулей FORMS, а также апробации результатов исследования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Редколис, Е. В. Формирование оптимальных бизнес-процессов оказания муниципальных услуг. Предпосылки. Требования / Е. В. Редколис, В. Д. Бердоносков // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2012. – №I-1(9). – С. 4-10.
2. Смит, Б. Методы и алгоритмы вычислений на строках / Б. Смит; пер. с англ. Р. Г. Имамудиновой; под ред. канд. физ.-мат. наук А. А. Минько. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 496 с.: ил.
3. Кузнецов, С. Д. Методы сортировки и поиска / С. Д. Кузнецов // ИСП РАН, Центр Информационных Технологий. Режим доступа: <http://citforum.ru/programming/theory/sorting/sorting1.shtml>.

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА  
MATHEMATICS AND MECHANICS

**Некрасова М. Г., Магола А. А., Магола Д. С.**  
**M.G. Nekrasova, A.A. Magola, D.S. Magola**

**НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА КАЧЕСТВО  
В ПРОЦЕССЕ ОХРАНЫ ТРУДА НА ОСНОВЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА  
«РУКОВОДСТВО ПО ЭКОНОМИКЕ КАЧЕСТВА. МОДЕЛЬ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ,  
ОЦЕНКИ И ОТКАЗОВ»**

**FUZZY MODELING AND OPTIMIZATION OF QUALITY-RELATED EXPENSES IN  
THE COURSE OF LABOR PROTECTION, PROCEEDING FROM THE STATE  
STANDART «GUIDANCE TO QUALITY ECONOMY. PREVENTION, ESTIMATION  
AND REFUSAL MODEL»**



**Некрасова Марина Геннадьевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные системы» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: NeMG@yandex.ru.

**Ms. Marina G. Nekrasova** – PhD in Economics, Associate Professor, Department of Information Systems, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: NeMG@yandex.ru.



**Магола Анна Адреевна** – студент кафедры «Информационные системы» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: amagola@mail.ru.

**Ms. Anna A. Magola** – student of Information Systems, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: amagola@mail.ru.



**Магола Дмитрий Степанович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: dmagola@list.ru.

**Mr. Dmitri S. Magola** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Information Systems, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: dmagola@list.ru.

**Аннотация.** В статье рассмотрены построение модели затрат на качество в процессе охраны труда на основе ГОСТ Р 52380.2 «Руководство по экономике качества. Модель предупреждения, оценки и отказов» с использованием аппарата нечеткой логики и оптимизация данной модели на основе генетических алгоритмов и методов нелинейной оптимизации с ограничениями.

**Summary.** The paper considers developing a model of quality-related expenses incurred in the course of protection of labour, proceeding from the state standard R 52380.2 «GUIDANCE TO QUALITY ECONOMY. PREVENTION, ESTIMATION AND REFUSAL MODEL», employing fuzzy logic, and optimization of this model on the basis of genetic algorithms and methods of nonlinear optimization with restrictions.

**Ключевые слова:** затраты на качество, охрана труда, государственный стандарт, нечеткие системы, генетические алгоритмы, методы нелинейной оптимизации с ограничениями.

**Key words:** quality-related expenses, protection of labor, state standard, fuzzy systems, genetic algorithms, methods of nonlinear optimization with restrictions.

УДК 330+681

Предметной областью исследования является процесс охраны труда в одной из государственных организаций Дальневосточного региона. Причин, по которым был взят именно этот процесс, несколько:

- элементы охраны труда, будь то техника безопасности, производственная санитария или пожарная безопасность, присутствуют в любой организации;
- проблемы охраны труда затрагивают различные стороны жизни и деятельности трудовых коллективов, организации производства и труда;
- данный процесс непосредственно влияет на сохранение жизни и здоровья сотрудников в процессе трудовой деятельности;
- вопросы охраны труда включены в экологический менеджмент, который является одной из верхних ступеней пирамиды качества [7] (см. рис. 1).



Рис. 1. Пирамида качества

Проблемой данного процесса именно в исследуемой организации является отсутствие системного, комплексного подхода к решению задач в этой области. Отсутствие такого подхода приводит к разработке малоэффективных мероприятий, к нерациональному распределению выделенных руководством ресурсов и, как следствие, возникновению большого количества предписаний от контролирующих и регулирующих органов, травмоопасных условий труда.

Авторами данной статьи принято решение адаптировать разработанную методику учета и анализа затрат, интегрирующую в себе стандарт ГОСТ Р 9001.2008 [4], типовую форму бухгалтерского баланса и стандарта ГОСТ Р 52380.2 [3] с целью создания такой системы, которая бы позволяла вести не только учет затрат, но и позволила бы их оптимизировать, то есть снизить их общую величину.

Математическая модель исследования основана на основном тезисе стандарта ГОСТ Р52380.2 [3]: через увеличение затрат на предупреждение и оценку можно снизить величину затрат по внутренним и внешним отказам.

На рис. 2 представлена зависимость объема затрат на достигнутый уровень дефектности продукции или услуг [9].

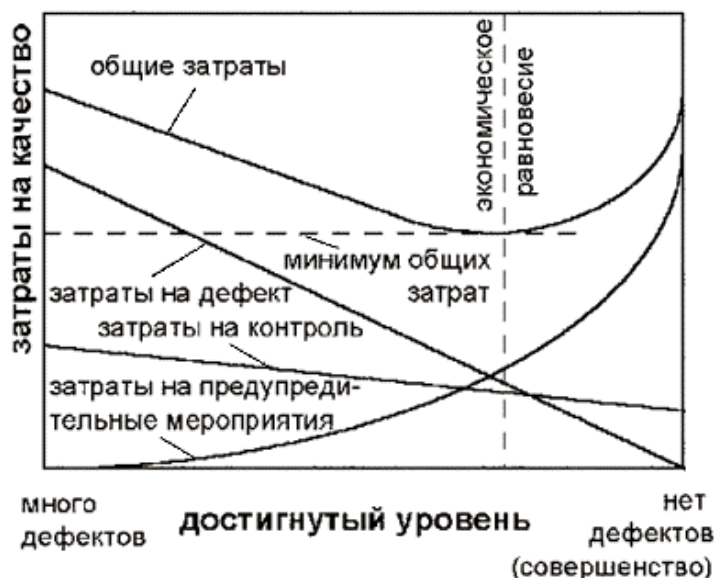


Рис. 2. Зависимость уровня дефектности от объема предупредительных затрат

Все затраты, которые несет предприятие в ходе своей деятельности, можно считать затратами на качество, так как деятельность любого предприятия ориентирована на производство качественной продукции или предоставлении качественной услуги. Все затраты на качество можно классифицировать на несколько категорий. В теории менеджмента качества принято выделять различные категории, например, затраты на достижение заданного уровня качества через оценку и контроль, а также предупреждающие мероприятия, затраты на дефекты (внешний и внутренний брак).

В модели затрат на качество Джурана-Фейгенбаума приведена следующая классификация затрат: на соответствие (предупреждение, оценка и контроль), на несоответствие (внешний и внутренний дефект). Иллюстрация взаимосвязи этих категорий затрат приведена на рис. 2. Видно, что при совершенствовании деятельности, которая влечет за собой уменьшение количества дефектов, сокращаются затраты на контроль и при нуле дефектов сходят на нет затраты на дефект. Надо отметить, что совершенствование в этом случае подразумевает более полный спектр предупреждающих действий, включение процедур оценки и контроля в технологические процессы.

Таким образом, основная идея анализа затрат на качество заключается в том, что относительно небольшие вложения в деятельность по предупреждению производства некачественной продукции и услуг приводят к значительным сокращениям потерь вследствие возникновения брака на различных этапах жизненного цикла продукции. Затраты на оценку качества также существенно сокращаются по мере того, как инвестиции в качество улучшают потребительские свойства продукции и услуг.

По оценке японских экспертов [5], увеличение затрат на предупреждение дефектов с 1 до 7 % ведет к общему снижению затрат в разрезе категорий: на оценку и контроль – с 34 до 28 %; на исправление брака и устранение причин его возникновения – с 35 до 20 %; на устранение дефектов после отгрузки продукции потребителю – с 30 до 20 %. В результате



снижение общих затрат, связанных с низким качеством продукции, может составить около 20 %.

На основе вышеизложенных идей построена математическая модель оптимизации величины затрат:

Целевой функцией является

$$F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{j=1}^m y_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  – затраты на предупреждение и контроль;  $n$  – количество статей затрат на предупреждение;  $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_m]$  – затраты на внутренние и внешние дефекты;  $m$  – количество статей затрат на внутренние и внешние дефекты.

При этом на систему наложен ряд ограничений

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m y_j \rightarrow 0, \\ \forall x_i \geq 0, i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

В качестве входных переменных в данной системе выступают следующие категории затрат (затраты на предупреждение и оценку,  $n = 20$ ):

1. затраты на анализ законодательной базы (в часах) –  $x_1$ ;
2. затраты на прохождение диспансеризации сотрудниками (в часах) –  $x_2$ ;
3. затраты на планирование проведения диспансеризации (в часах) –  $x_3$ ;
4. планирование мероприятий по улучшению условий труда (в часах) –  $x_4$ ;
5. затраты на обучение персонала методам обеспечения качества (в часах) –  $x_5$ ;
6. проведение мероприятий по улучшению условий труда (в рублях) –  $x_6$ ;
7. затраты на информирование и консультирование сотрудников (в часах) –  $x_7$ ;
8. планирование процесса переобучения в области охраны труда (в часах) –  $x_8$ ;
9. разработка программы и проведение вводного инструктажа (в часах) –  $x_9$ ;
10. затраты на подготовку отчетности в области качества (в часах) –  $x_{10}$ ;
11. обеспечение организации инвентарем в области охраны труда (в рублях) –  $x_{11}$ ;
12. согласование законодательной базы и внутренних документов (в часах) –  $x_{12}$ ;
13. затраты на приобретение средств индивидуальной защиты (в рублях) –  $x_{13}$ ;
14. обследование технического состояния основных средств (в часах) –  $x_{14}$ ;
15. анализ прохождения периодического медицинского осмотра (в часах) –  $x_{15}$ ;
16. затраты на контроль соблюдения санитарных норм (в часах) –  $x_{16}$ ;
17. затраты на участие в приемке в эксплуатацию объектов (в часах) –  $x_{17}$ ;
18. затраты на контроль знаний по охране труда (в часах) –  $x_{18}$ ;
19. затраты на рассмотрение писем и жалоб (в часах) –  $x_{19}$ ;
20. затраты на контроль применения средств индивидуальной защиты (в часах) –  $x_{20}$ .

В качестве выходных переменных будут выступать затраты на дефект ( $m = 8$ ) и общая сумма затрат  $F(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ :

1. затраты на анализ данных о несчастных случаях и болезнях (в часах) –  $y_1$ ;
2. затраты на анализ представлений от контролирующих и регулирующих органов (в часах) –  $y_2$ ;
3. компенсационные доплаты за работу во вредных условиях (в рублях) –  $y_3$ ;
4. затраты на предписания пожарной инспекции (в рублях) –  $y_4$ ;
5. затраты по временной нетрудоспособности персонала (в рублях) –  $y_5$ ;
6. затраты на предписания инспекции труда (в рублях) –  $y_6$ ;
7. затраты на предписания Роспотребнадзора (в рублях) –  $y_7$ ;
8. затраты на предписания Технадзора (в рублях) –  $y_8$ ;

Для решения поставленной задачи возможно использование нескольких математических аппаратов:

- классические математические методы (статистический анализ, регрессионные и эконометрические модели) [2; 10; 11; 13];
- системы искусственного интеллекта (нейросетевые алгоритмы, нечеткие системы, генетические алгоритмы, муравьиные алгоритмы) [1; 6; 8; 12].

Выбор математического аппарата обусловлен рядом проблем, возникших при анализе исследуемого процесса:

- не все категории затрат явно отражены в типовых формах бухгалтерской отчетности (например, затраты на анализ законодательной базы в области охраны труда или затраты на анализ данных о несчастных случаях и болезнях). В балансе организации отражалась лишь общая сумма затрат на выплату заработной платы сотрудникам отдела. Отчеты по внутреннему аудиту и сертификационным проверкам только частично решали данную проблему, так как содержали данные не за полный период времени, взятый за основу в исследовании.
- отдел самостоятельно никогда не вел полной статистики по выбранным категориям затрат.

В связи с указанными проблемами авторами принято решение для поставленной задачи использовать нечеткий логический вывод, то есть аппроксимацию зависимости «входы-выходы» на основе лингвистических высказываний «ЕСЛИ-ТО» и логических операций над нечеткими множествами [12, 36]. Первая проблема (отсутствие количественных оценок ряда категорий затрат) решена введением нечетких качественных переменных. Решением второй проблемы является составление базы правил на основе знаний эксперта, которая позволит выявить зависимости между входными и выходными переменными. Необходимо подчеркнуть, что адекватность результатов напрямую зависит от качества используемой нечеткой системы, т.е. от полноценной и непротиворечивой базы знаний и от качества функций принадлежности, которыми описываются соответствующие лингвистические переменные рассматриваемой предметной области.

При описании предметной области используются термины лингвистической и нечеткой переменных [6; 8; 12].

Большинство выбранных переменных измеряется в часах. Для перевода измерения таких переменных в денежный эквивалент использовались данные о среднем окладе сотрудника в отделе и количестве рабочих дней в году. Диапазоны изменения значений переменных определялись экспертным путем и выражаются в рублях.

Входные лингвистические переменные содержат в себе по три нечетких термина: малое значение затрат, среднее значение затрат, большое значение затрат. Выходные лингвистические переменные содержат в себе по пять нечетких термов: очень малое



значение затрат, малое значение затрат, среднее значение затрат, большое значение затрат, очень большое значение затрат.

Для примера рассмотрим описания наборов нескольких входных и выходных переменных:

$x_1 = \langle \langle \text{Затраты на анализ законодательной базы в области охраны труда} \rangle \rangle$ , {«малые»

$$\mu_{\text{малые}}(x_1) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{x-1800}{4000-1800}\pi\right), \quad \langle \langle \text{средние} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{средние}}(x_1) = e^{-\frac{(x-7200)^2}{2 \cdot 3000^2}}, \quad \langle \langle \text{большие} \rangle \rangle$$

$$\mu_{\text{большие}}(x_1) = e^{-\frac{(x-21600)^2}{2 \cdot 5000^2}} \rangle, [1800, 21600] \rangle;$$

$x_7 = \langle \langle \text{Затраты на информирование и консультирование сотрудников по вопросам}$

$$\text{охраны труда} \rangle \rangle, \{ \langle \langle \text{малые} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{малые}}(x_7) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{x-1800}{6700-1800}\pi\right), \quad \langle \langle \text{средние} \rangle \rangle$$

$$\mu_{\text{средние}}(x_7) = e^{-\frac{(x-8550)^2}{2 \cdot 4000^2}}, \langle \langle \text{большие} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{большие}}(x_7) = e^{-\frac{(x-21600)^2}{2 \cdot 4000^2}} \rangle, [1800, 21600] \rangle;$$

$x_{14} = \langle \langle \text{Затраты на обследование технического состояния основных средств} \rangle \rangle$ ,

$$\{ \langle \langle \text{малые} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{малые}}(x_{14}) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{x-7200}{14000-7200}\pi\right), \quad \langle \langle \text{средние} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{средние}}(x_{14}) = e^{-\frac{(x-21600)^2}{2 \cdot 4250^2}},$$

$$\langle \langle \text{большие} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{большие}}(x_{14}) = e^{-\frac{(x-28800)^2}{2 \cdot 4250^2}} \rangle, [7200, 28800] \rangle;$$

$y_2 = \langle \langle \text{Затраты на анализ количества представлений от контролирующих и}$

$$\text{регулирующих органов} \rangle \rangle, \{ \langle \langle \text{очень малые} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{оченьмалые}}(y_2) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{x-1800}{6200-1800}\pi\right), \quad \langle \langle \text{малые} \rangle \rangle$$

$$\mu_{\text{малые}}(y_2) = e^{-\frac{(x-4000)^2}{2 \cdot 1700^2}}, \quad \langle \langle \text{средние} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{средние}}(y_2) = e^{-\frac{(x-7200)^2}{2 \cdot 4000^2}}, \quad \langle \langle \text{большие} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{большие}}(y_2) = e^{-\frac{(x-14600)^2}{2 \cdot 3150^2}},$$

$$\langle \langle \text{очень большие} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{оченьбольшие}}(y_2) = e^{-\frac{(x-21600)^2}{2 \cdot 4000^2}} \rangle, [1800, 21600] \rangle;$$

$y_5 = \langle \langle \text{Затраты по временной нетрудоспособности персонала} \rangle \rangle$ , {«очень малые»

$$\mu_{\text{оченьмалые}}(y_5) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{x-10000}{60000-10000}\pi\right), \quad \langle \langle \text{малые} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{малые}}(y_5) = e^{-\frac{(x-41600)^2}{2 \cdot 24000^2}}, \quad \langle \langle \text{средние} \rangle \rangle$$

$$\mu_{\text{средние}}(y_5) = e^{-\frac{(x-74600)^2}{2 \cdot 24000^2}}, \quad \langle \langle \text{большие} \rangle \rangle \quad \mu_{\text{большие}}(y_5) = e^{-\frac{(x-115000)^2}{2 \cdot 14000^2}}, \quad \langle \langle \text{очень большие} \rangle \rangle$$

$$\mu_{\text{оченьбольшие}}(y_5) = e^{-\frac{(x-150000)^2}{2 \cdot 24000^2}} \rangle, [10000, 150000] \rangle.$$

Между входными и выходными переменными выделены следующие зависимости:

$$y_1 = f(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{11}, x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{18}, x_{19}), \quad (3)$$

$$y_2 = f(x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{20}), \quad (4)$$

$$y_3 = f(x_4, x_5, x_6, x_{10}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{20}), \quad (5)$$

$$y_4 = f(x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{20}), \quad (6)$$

$$y_5 = f(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{11}, x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{18}, x_{19}), \quad (7)$$

$$y_6 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{13}), \quad (8)$$

$$y_7 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_{12}), \quad (9)$$

$$y_8 = f(x_1, x_4, x_6, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}), \quad (10)$$

$$F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, \dots, x_{18}, x_{19}, x_{20}, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8) \quad (11)$$

База знаний состоит из 64 продукционных правил, полученных на основе знаний эксперта. Приведем некоторые из них:

1. ЕСЛИ  $x_2$  есть «малый» И  $x_3$  есть «малый» И  $x_4$  есть «малый» И  $x_5$  есть «малый» И  $x_6$  есть «малый» И  $x_7$  есть «малый» И  $x_8$  есть «малый» И  $x_9$  есть «малый» И  $x_{11}$  есть «малый» И  $x_{13}$  есть «малый» И  $x_{14}$  есть «малый» И  $x_{15}$  есть «малый» И  $x_{16}$  есть «малый» И  $x_{18}$  есть «малый» И  $x_{19}$  есть «малый», ТО  $y_1$  есть «очень большой».

10. ЕСЛИ  $x_1$  есть «малый» И  $x_4$  есть «малый» И  $x_5$  есть «малый» И  $x_6$  есть «малый» И  $x_7$  есть «малый» И  $x_8$  есть «малый» И  $x_9$  есть «малый» И  $x_{10}$  есть «малый» И  $x_{12}$  есть «малый» И  $x_{13}$  есть «малый» И  $x_{14}$  есть «малый» И  $x_{15}$  есть «малый» И  $x_{16}$  есть «малый» И  $x_{17}$  есть «малый» И  $x_{20}$  есть «малый», ТО  $y_2$  есть «очень большой».

23. ЕСЛИ  $x_4$  есть «большой» И  $x_5$  есть «малый» И  $x_6$  есть «большой» И  $x_{10}$  есть «малый» И  $x_{13}$  есть «большой» И  $x_{14}$  есть «большой» И  $x_{17}$  есть «большой» И  $x_{20}$  есть «большой», ТО  $y_3$  есть «средний».

Нечеткая модель рассматриваемой предметной области представлена в виде модели Мамдани [6; 8; 12], которая может быть описана следующими этапами:

1. введение нечеткости (фаззификация);
2. логический вывод;
3. композиция;
4. приведение к четкости (дефаззификация). На данном этапе в зависимости от предметной области рассматриваемой задачи могут использоваться различные методы, например:

- метод центра тяжести;
- метод центра площади;
- метод первого максимума;
- метод среднего максимума;
- метод наименьшего максимума.

Авторами экспертным путем принято решение об использовании метода наименьшего максимума при дефаззификации.

Оптимизация величины общих затрат производилась с помощью генетических алгоритмов [1; 8] и методов нелинейной оптимизации с ограничениями [2]. Такая комбинированная модель оптимизации обусловлена использованием достоинств каждой из моделей:

– генетические алгоритмы, являясь стохастическими алгоритмами, производят случайный поиск, гарантируя решение задачи глобальной оптимизации, но время сходимости не определено. В связи с этим на первом этапе на основе конечного числа популяций и конечного числа итераций производится поиск решения с максимальным «сужением» области истинного решения;

– на втором этапе используются быстрые алгоритмы оптимизации с вычислением производных первого и второго порядков (например, квазиньютоновский метод), исходной точкой для которых является решение, полученное на первом этапе.

Для реализации нечеткой модели и оптимизации величины общих затрат процесса охраны труда использовалась среда Matlab. Процесс реализации состоял из следующих этапов:

- построение нечеткой системы (настройка функций принадлежности входных и выходных переменных, составление базы знаний, настройка параметров системы). На данном этапе использовался встроенный пакет FuzzyLogic (нечеткая логика);
- настройка функции оптимизации величины общих затрат;
- проектирование пользовательского интерфейса (см. рис. 3-4).

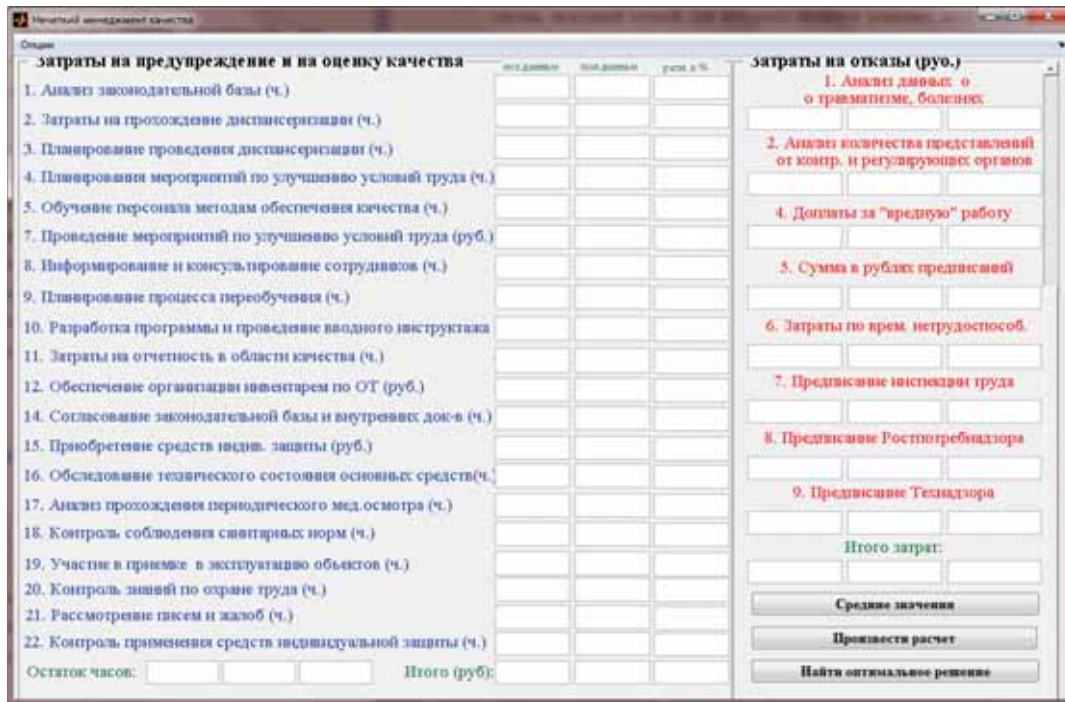


Рис. 3. Главное окно программы

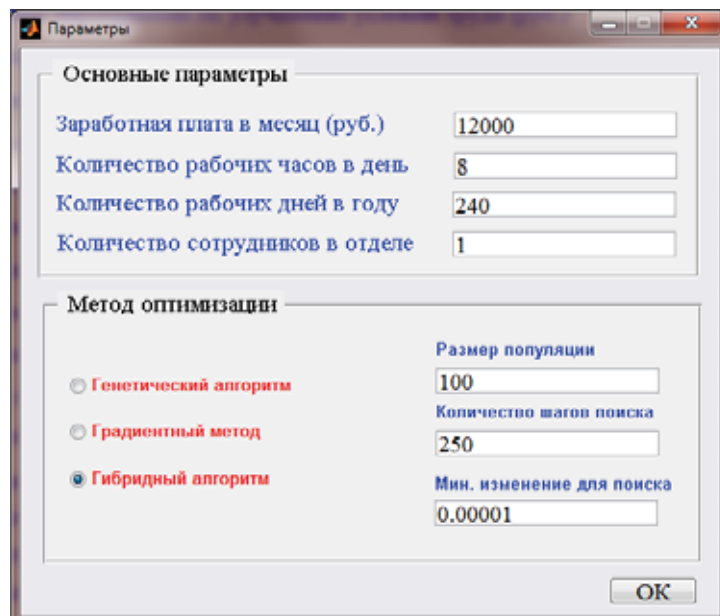


Рис. 4. Настройка параметров

**Некрасова М. Г., Магола А. А., Магола Д. С. НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА КАЧЕСТВО В ПРОЦЕССЕ ОХРАНЫ ТРУДА НА ОСНОВЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА «РУКОВОДСТВО ПО ЭКОНОМИКЕ КАЧЕСТВА. МОДЕЛЬ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, ОЦЕНКИ И ОТКАЗОВ»**

Для использования программы необходимо указать основные параметры (см. рис. 4) и перейти к главному окну программы, в котором отображаются затраты на предупреждение и оценку качества (левая и центральная часть окна), в правой части окна отображаются выходные переменные – затраты на отказы и общая величина затрат. Для каждой переменной в процессе работы программы будет отображено три значения:

- исходное значение параметра;
- полученное значение переменной;
- процентная разница между двумя первыми значениями.

На рис. 5 представлен пример оптимизации затрат, который позволил снизить общие затраты более, чем на 34 %. На рис. 6 представлено изменение целевой функции на каждой итерации поиска решения поставленной задачи.

Затраты на предупреждение и на оценку качества			
	ист. данные	полг. данные	разн. в %
1. Анализ законодательной базы (ч.)	96	283.2068	+195.0071
2. Затраты на прохождение диспансеризации (ч.)	96	53.7321	-44.029%
3. Планирование проведения диспансеризации (ч.)	288	96.0103	-66.6631%
4. Планирование мероприятий по улучшению условий труда (ч.)	288	96	-66.6667%
5. Обучение персонала методам обеспечения качества (ч.)	96	64.3734	-32.9443%
7. Проведение мероприятий по улучшению условий труда (руб.)	860000	517517.25*	-39.8236%
8. Информирование и консультирование сотрудников (ч.)	114	24.1078	-78.8528%
9. Планирование процесса переобучения (ч.)	96	53.7738	-43.9856%
10. Разработка программы и проведение вводного инструктажа	24	14.3821	-40.0747%
11. Затраты на отчетность в области качества (ч.)	24	31.5389	+31.4121%
12. Обеспечение организации инвентарем по ОТ (руб.)	50000	70000	+40%
14. Согласование законодательной базы и внутренних док-в (ч.)	288	96	-66.6667%
15. Приобретение средств индив. защиты (руб.)	150000	248437.46*	+65.625%
16. Обследование технического состояния основных средств(ч.)	0	96	+9599900%
17. Анализ прохождения периодического мед.осмотра (ч.)	96	24.238	-74.7521%
18. Контроль соблюдения санитарных норм (ч.)	48	124.337	+159.0354
19. Участие в приемке в эксплуатацию объектов (ч.)	0	111.0379	+1110368%
20. Контроль знаний по охране труда (ч.)	48	25.6945	-46.4698%
21. Рассмотрение писем и жалоб (ч.)	48	72.1998	+50.4162%
22. Контроль применения средств индивидуальной защиты (ч.)	72	199.7104	+177.3756
Остаток часов:	198	453.6571	+129.1197*
Итого (руб.):	1189150	945930.43*	-21.1261

Затраты на отказы (руб.)			
1. Анализ дневных о травматизме, болезнях	7375	1500	-79.661%
2. Анализ количества представлений от контр. и регулирующих органов	2675	1500	-43.9252%
4. Доплаты за "вредную" работу	0	0	0%
5. Сумма в рублях предписаний	252500	49550	-80.3762%
6. Затраты по врем. нетрудоспособ.	39400	21200	-46.1929%
7. Предписание инспекции труда	30000	0	-100%
8. Предписание Рострудинспектора	34500	1500	-95.6522%
9. Предписание Технадзора	0	0	0%
Итого затрат:	1555798	1021634.095*	-34.3629%

Рис. 5. Исходное и найденное оптимальное решения

Для достижения данного значения общей величины затрат необходимо по сравнению с исходными данными увеличить затраты на анализ законодательной базы в области охраны труда, затраты на контроль соблюдения санитарных норм, затраты на участие в приеме в эксплуатацию объектов более, чем на 100 %, затраты на отчетность в области качества, затраты на обеспечение организации инвентарем по охране труда, затраты на рассмотрение писем и жалоб более, чем 30 %. В результате отдельные категории затрат на дефекты снизились на 40-100 %.

**Заключение.** В данной статье рассмотрены построение нечеткой модели затрат на качество на примере процесса охраны труда и процедура оптимизации общей величины данных затрат. Решения, к которым пришли авторы статьи, подтверждают тезис, описанный в стандарте ГОСТ Р 52380.2 [3]: через увеличение затрат на предупреждение и оценку можно снижать величину затрат на внешние и внутренние дефекты.

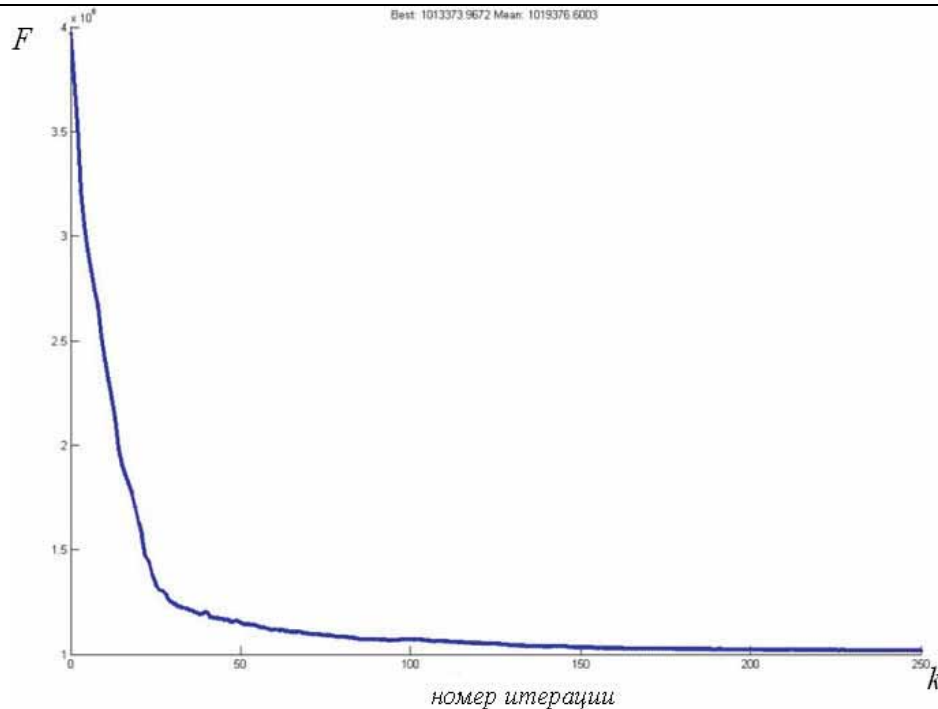


Рис. 6. Снижения общей величины затрат в процессе работы программы

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация синтеза и обучение интеллектуальных систем управления / под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. – М.: Наука, 2009. – 228 с.
2. Васильков, Ю. В. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании / Ю. В. Васильков, Н. Н. Василькова. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 256 с.
3. ГОСТ Р 52380.2-2005. Руководство по экономике качества. Модель предупреждения, оценки и отказов. – Введ. 2005-09-30. – М.: Стандартинформ, 2005. – V, 15 с.
4. ГОСТ Р 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 2009-11-13. – М.: Стандартинформ, 2009. – V, 26 с.
5. Кравченко, К. С. Совершенствование системы учета затрат на качество / К. С. Кравченко // Материалы научно-практической и студенческой конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2006.
6. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
7. Круглов, М. Г. Менеджмент качества как он есть / М. Г. Круглов, Г. М. Шишков. – М.: Эксмо, 2006. – 544 с.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления: учеб. В 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
9. Рябых, Д. Анализ затрат на качество / Д. Рябых // [[http://www.cfin.ru/management/iso9000/iso9000\\_cost.shtml](http://www.cfin.ru/management/iso9000/iso9000_cost.shtml)].
10. Чавкин, А. М. Методы и модели рационального управления в рыночной экономике / А. М. Чавкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 320 с.
11. Чураков, Е. П. Математические методы обработки экспериментальных данных в экономике / Е. П. Чураков. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 240 с.
12. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
13. Эконометрика: учеб. / под ред. И. И. Елисейевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

**Горнаков А. И.**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА

ПРИ НОВОМ СПОСОБЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

**Горнаков А. И.**

**A.I. Gornakov**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА  
ПРИ НОВОМ СПОСОБЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ\***

**MATHEMATICAL MODELING OF METAL FLOW UNDER THE NEW METHOD OF  
CONTINUOUS CASTING OF STEEL**

**Горнаков Антон Игоревич** – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: [gornakovai@mail.ru](mailto:gornakovai@mail.ru).

**Mr. Anton I. Gornakov** – PhD Candidate, Institute of Engineering and Metallurgy, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: [gornakovai@mail.ru](mailto:gornakovai@mail.ru).

**Аннотация.** В работе построена пространственная математическая модель, описывающая гидродинамику жидкого металла при разливке стали в кристаллизатор установки непрерывной разливки стали (УНРС). Получены поля скоростей внутри кристаллизатора прямоугольного сечения при использовании новой конструкции разливочного стакана с отражателем. Математическая модель данного процесса поможет получить новую схему движения разливаемого металла и рассмотреть её влияние на теплоотвод.

**Summary.** In this paper a mathematical model is built, which describes the hydrodynamics of liquid metal during casting of steel into the mold of a steel continuous casting plant. We obtained the velocity field inside the mold of rectangular cross-section using a nozzle of new design with reflector. A mathematical model of this process will help to get a new pattern of flow of the spilled metal, and to consider its effect on the heat sink.

**Ключевые слова:** численное моделирование, гидродинамика, жидкий металл, кристаллизатор, УНРС.

**Key words:** numerical modelling, hydrodynamics, liquid metal, mold, steel continuous casting plant.

УДК: 519.677

### **Введение**

Важной составляющей улучшения технологии непрерывной разливки стали является оптимизация устройств подвода расплава в кристаллизатор, в основном погружных стаканов. В данной работе рассмотрено устройство подвода, состоящее из разливочного стакана и отражателя под ним.

Установка непрерывной разливки стали (УНРС) при использовании исследуемого способа подвода расплава в кристаллизатор работает следующим образом (см. рис. 1). Расплавленный металл движется по каналу разливочного стакана 3 из промежуточного ковша 1 в полость кристаллизатора 2. Жидкий металл на выходе из стакана 3 под действием пластины 4, установленной под стаканом при помощи держателей 5 на некотором расстоянии от кромки выходного отверстия разливочного стакана, течет с образованием вихрей, которые переносят зарождающиеся центры кристаллизации от охлаждаемой стенки кристаллизатора в центр слитка. Образующийся слиток вытягивается вниз.

Благодаря тому, что установка оснащена пластиной, установленной под выходным отверстием прямого стакана, поток металла отражается во все стороны, и образуются дополнительные вихри в расплаве в плоскости, параллельной узкой стенке кристаллизатора.

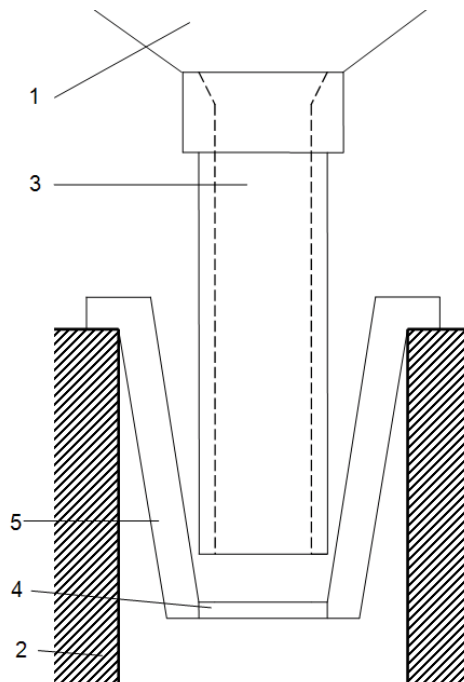


Рис. 1. Разливка с использованием разливочного стакана с отражателем

Вследствие этого усиливается течение возле широкой стенки кристаллизатора и вихрь уносит зарождающиеся центры кристаллизации от охлаждаемой стенки в центр слитка. Из-за возрастания количества центров кристаллизации в слитке увеличивается его мелкозернистость. Это положительно сказывается на некоторых физико-механических свойствах, например, ударной вязкости и твердости слитка и последующего проката.

### Постановка задачи

В целях упрощения решения задачи погружной стакан примем квадратного поперечного сечения и пренебрежем влиянием нарастающей корочки на геометрию расчетной области. Толщина корочки в нижней части кристаллизатора составляет 15 – 20 мм, а поперечное сечение кристаллизатора 2000×250 мм. Тогда с учетом двухплоскостной симметрии формализованная геометрия расчетной области может быть представлена в виде, представленном на рис. 2, то есть будем рассматривать четвертую часть области течения жидкого металла. Поверхности  $\Gamma_6, \Gamma_9$  – это плоскости симметрии.

Процесс примем стационарным. Среду (жидкий металл) будем считать несжимаемой. Исходя из сформулированных допущений, запишем систему дифференциальных уравнений в декартовой системе координат.

Для несжимаемой жидкости ( $\rho = \text{const}$ ) и стационарного течения ( $\partial v_i / \partial \tau = 0$ ) имеем следующую систему уравнений гидродинамики:

- закон количества движения

$$F_i^* - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 v_i = \rho v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k}, \quad F_2^* = F_3^* = 0, \quad i, k = 1, 2, 3; \quad (1)$$

- уравнения несжимаемости

$$v_{i,i} = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

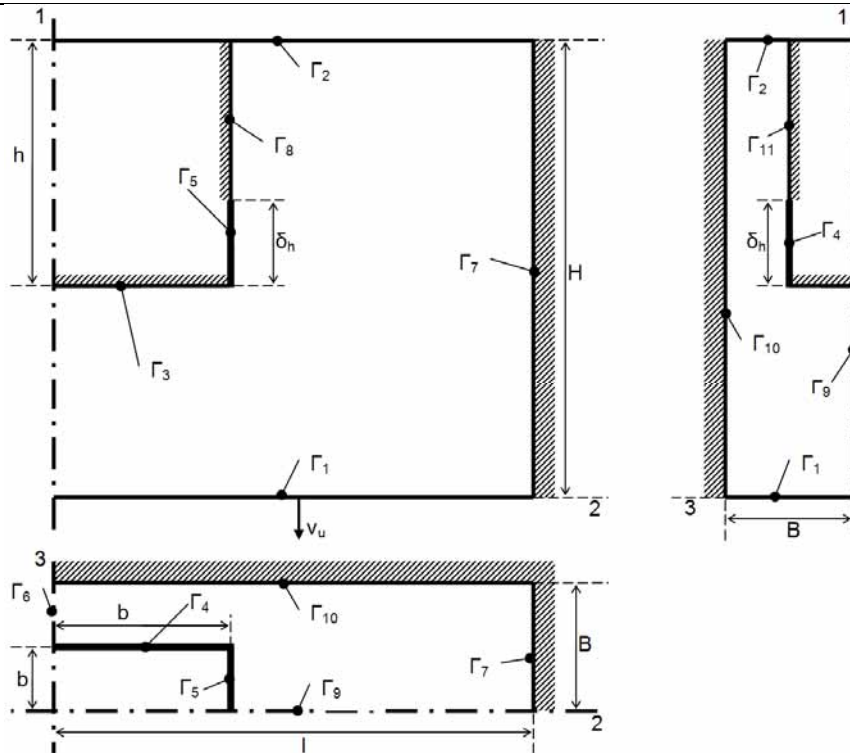


Рис. 2. Формализованная геометрия расчетной области

Здесь  $p$  – давление в данной точке ( $p = -\sigma$ );  $\sigma$  – гидростатическое напряжение;  $\mu$  – коэффициент вязкости,  $\text{г}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ;  $v_i$  – проекции скоростей перемещений по координатным осям  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ );  $\rho$  – плотность жидкого металла;  $F_i^*$  – проекция удельной объемной силы тяжести на координатные оси  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ );  $\tau$  – время;  $\nabla^2$  – Лапласа оператор; в формулах (1) – (2) используется суммирование по повторяющимся индексам.

Уравнения (1), (2) описывают течение ньютоновской вязкой несжимаемой жидкости, для которой справедливы уравнения

$$\sigma_{ij,j} + F_i^* = I_i^*, \quad I_i^* = \rho \left( \dot{v}_i + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right). \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2\mu \xi_{ij}, \quad \xi_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} + v_{j,i}). \quad (4)$$

$$v_{j,j} = 0, \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Здесь  $\sigma_{ij}$  – компоненты тензора напряжений;  $\xi_{ij}$  – компоненты тензора скоростей деформаций;  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера. Для стационарного процесса

$$\dot{v}_i = \frac{\partial v_i}{\partial \tau} = 0, \quad i = 1, 2, 3.$$

Переход от системы (1), (2) к системе (3)-(5) выполнен, чтобы воспользоваться апробированным численным методом [1] который применялся в работах [2-4] и др., разработанным для решения подобных систем уравнений.

### Граничные условия задачи

$$\sigma_{11}|_{\Gamma_2} = -p_1; (\sigma_{12} = \sigma_{13})|_{\Gamma_2} = 0; (\sigma_{12} = \sigma_{13})|_{\Gamma_i} = 0, i = 1..4;$$

$$(\sigma_{21} = \sigma_{23})|_{\Gamma_i}, i = 5..8; (\sigma_{31} = \sigma_{32})|_{\Gamma_i}, i = 9..11;$$

$$v_1|_{\Gamma_1} = v_u; v_1|_{\Gamma_3} = 0; v_2|_{\Gamma_i} = 0, i = 6..8;$$

$$v_3|_{\Gamma_4} = \bar{v}^*; v_2|_{\Gamma_5} = \bar{v}^*; v_3|_{\Gamma_i} = 0, i = 9..11;$$

Здесь  $v_u$  – скорость вытягивания слитка (см. рис. 2);  $\bar{v}^*$  – скорость выхода жидкого металла из окон погружного стакана  $\Gamma_4, \Gamma_5$ .

Задавались следующие геометрические параметры рассматриваемой четверти существующего кристаллизатора:  $H = 100$  см,  $B = 12,5$  см,  $l = 100$  см,  $h = 20$  см,  $b = 7,5$  см,  $\delta_h = 1,5$  см. Принимались  $\bar{v}_1^* = 1,36$  м/с,  $v_u = 1$  м/мин.

Коэффициент вязкости  $\mu$  принимался по работе [6],  $\mu = 2,1 \cdot 10^{-4}$  кг·с/м<sup>2</sup>.

### Результаты расчета

На рис. 3 – 4 представлены некоторые результаты расчета. На рис. 3 приведены течения потока металла в сечении  $\Gamma_9$ . На рис. 4 дано движение потока в сечении  $\Gamma_6$ , верхняя часть кристаллизатора показана увеличенно.

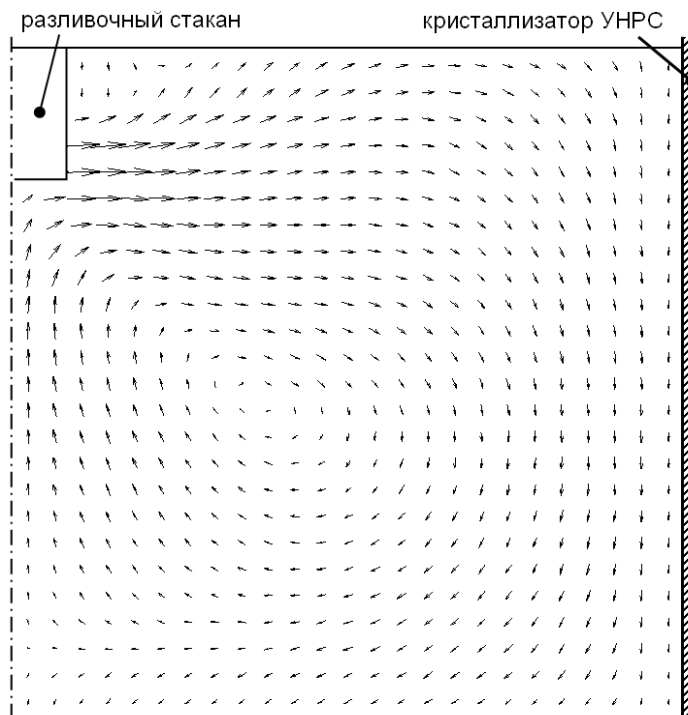


Рис. 3. Поле скоростей в сечении  $\Gamma_9$

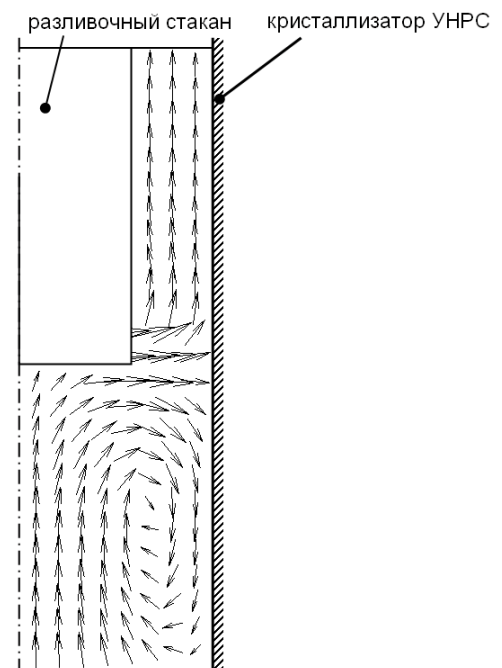


Рис. 4. Поле скоростей в сечении  $\Gamma_6$

Как видно из рисунков, ниже кристаллизатора наблюдается круговое течение металла. Оно просматривается в обеих плоскостях симметрии  $\Gamma_9$ ,  $\Gamma_{10}$  (см. рис. 3, 4).

Ввиду малости коэффициента  $\mu$  по каждому элементу, получили  $\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33} = \sigma$ , которые распределены по области в соответствии с глубиной нахождения элемента. Только в области выхода струи из погружного стакана наблюдается небольшой всплеск давления, превышающий на 0,04 атм. давление на данном уровне. Этот всплеск быстро уменьшается вдоль координаты  $x_2$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 11-01-98500-р\_восток\_a.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование сложных технологических процессов: моногр. / В. И. Одинок, Б. Г. Каплунов, А. В. Песков, А. А. Баков. – М.: Наука, 2008. – 176 с.
2. Одинок, В. И. Построение математической модели для анализа процесса разрушения ледяного покрова / В. И. Одинок, А. М. Сергеева, Е. А. Захарова // Математическое моделирование. – 2008. – Т. 20. – № 5. – С. 15-26.
3. Одинок, В. И. Моделирование процесса разрушения ледяных заторов / В. И. Одинок, А. Н. Прокудин // ПМТФ. – 2010. – Т. 51. – № 1. – С. 110-116.
4. Одинок, В. И. Моделирование процесса деформации металла на литейно-ковочном модуле / В. И. Одинок, Н. С. Ловизин, С. Ю. Склад // Математическое моделирование. – 2010. – Т. 22. – № 9. – С. 129-145.
5. Разработка нового способа разлива слябовых заготовок на МНЛЗ: моногр. / В. В. Стулов, В. А. Матысик, Т. В. Новикова, С. В. Щербаков, И. В. Чистяков, А. П. Плотников. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 158 с.
6. Kim, W. S. A Simplified Phenomenological Theory of Viscosity for Liquid Metals / W.S. Kim, T. S. Chair // Bulletin of the Korean Chemical Society. – 2001. – V. 22. – № 1. – P. 43-45.



Севастьянов А. М.

A.M. Sevastyanov

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛЫХ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В ФУТЕРОВАННОЙ ФОРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОСИФОНА**

**MODELING OF THE THERMAL STRESSED STATE DURING HOLLOW CASTING OF ALUMINUM ALLOY IN A MOULD LINED WITH THERMOSIPHON**

Севастьянов Антон Мамиевич – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mamiaa20@mail.ru.

Mr. Anton M. Sevastyanov – PhD Candidate, Institute of Machine Science and Metallurgy, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mamiaa20@mail.ru.

**Аннотация.** В статье исследуется новый способ получения полых отливок из алюминиевого сплава, при котором в качестве центрального сердечника используется термосифон – замкнутый испарительно-конденсационный контур, охлаждаемый в зоне конденсации водой. Исследовано влияние интенсивного теплоотвода от центра на термонапряженное состояние отливки и характер движения фронта затвердевания. Полученные результаты показывают, что использование термосифона при данном методе получения отливок не вызывает образование продольных трещин, при этом время формирования отливки сокращается более чем в два раза по сравнению с традиционным способом.

**Summary.** In this paper we investigate a new method for producing hollow castings of aluminum alloy, in which for the central core a thermosyphon is used – a closed evaporation-condensation loop, cooled with water in the condensation zone. The effect is investigated of intense heat removal from the center upon the thermal stressed state of the casting and upon the movement of the solidification front. The obtained results demonstrate that the use of a thermosyphon for this method of casting does not cause the formation of longitudinal cracks, at the same time the casting time is reduced by more twice compared to the conventional method.

**Ключевые слова:** термосифон, футерованная форма, закон Дюамеля-Неймана, внутренние источники тепла, правило рычага.

**Key words:** thermosyphon, lined mould, Duhamel-Neumann's law, internal heat sources, lever rule.

УДК 519.63, 536.24, 539.319

**Введение**

Известен способ получения полых отливок в футерованной форме, с неохлаждаемым металлическим сердечником, установленным по центру формы [3]. Основные недостатки данного способа – более низкие по сравнению с кокильным литьем физико-механические свойства и размерно-геометрическая точность отливок, низкий ресурс формы и большее время формирования отливки. Данные недостатки могут быть устранены путем замены центрального сердечника термосифоном, позволяющим за короткий временной интервал отвести большую часть тепла, выделяемого кристаллизующимся металлом, от центра отливки и выровнять температурное поле по сечению. В данной работе авторами была поставлена цель – создать математическую модель процесса охлаждения цилиндрической отливки из алюминиевого сплава в футерованной форме с установленным по центру термосифоном, показать, что применение термосифона не вызывает термических напряжений в отливке, достаточных для образования трещин.

**Постановка задачи**

Рассматривается процесс охлаждения отливки из алюминия в футерованной форме. Из модельных допущений следует отметить, что используется модель плотного контакта «отливка-форма», с наличием воздушного зазора, возникающего вследствие усадки, пренебрегаем. Тепловой поток на границе контакта «термосифон – окружающая среда» отсутствует. Температура заливаемого сплава алюминия 700 °С; начальная температура прогрева формы – 120 °С. Тепловой поток в термосифон задается равномерно распределенным по высоте его контакта с отливкой. На рис. 1 приведены схемы поверхностей для температурной и деформационной задачи.

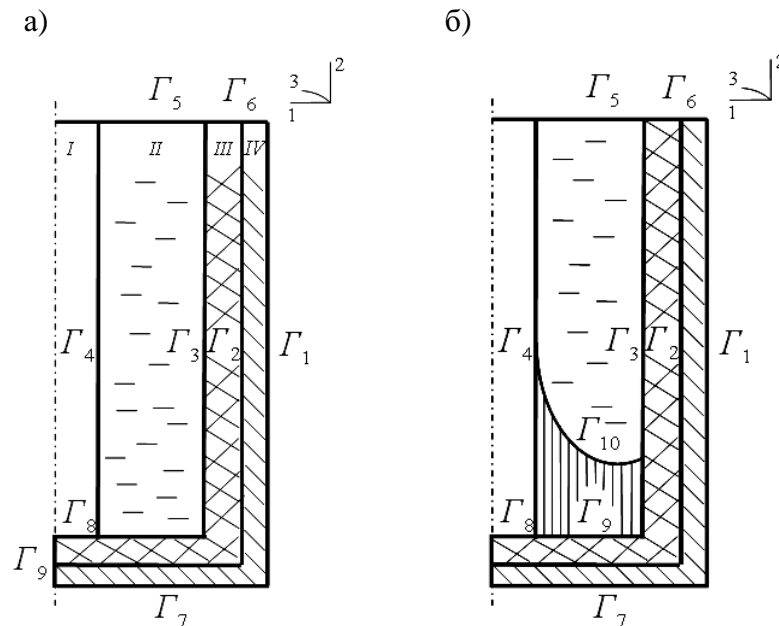


Рис. 1. Схема поверхностей: а – для температурной задачи; б – для деформационной задачи: (I – термосифон, II – расплав алюминия, III – футеровка, IV – стенка формы)

Определяющая система дифференциальных уравнений в частных производных включает:

1) нестационарное уравнение теплопроводности с внутренними источниками тепла

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{1}{C_m(\theta) \cdot \rho} \cdot \text{div}(\lambda(\theta) \cdot \text{grad} \theta) + \frac{q_m(\theta)}{C_m(\theta)}. \quad (1)$$

Величина  $q_m$  представляет собой удельную по массе мощность внутренних тепловых источников; этот член отличен от нуля только в двухфазной зоне металла – отражает выделение теплоты фазового перехода;

2) физические уравнения – закон Дюамеля-Неймана

$$\sigma_{ij} = 2 \cdot G(\theta) \cdot \left[ \varepsilon_{ij} + \frac{\nu \cdot \varepsilon - (1 + \nu) \cdot \alpha \cdot \Delta \theta}{1 - 2\nu} \cdot \delta_{ij} \right], \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где  $\sigma_{ij}$  – компоненты тензора напряжений,  $\varepsilon_{ij}$  и  $\varepsilon = \varepsilon_{ii}$  – компоненты и первый инвариант тензора деформаций соответственно,  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $G$  – модуль сдвига,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\alpha$  – коэффициент линейного термического расширения,  $\Delta \theta$  – абсолютное изменение температуры относительно исходной (в недеформированном состоянии);

3) линейные геометрические соотношения Коши, устанавливающие связь между компонентами тензора деформаций и компонентами перемещений в случае малых деформаций

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad i, j = 1, 2, 3; \quad (3)$$

4) статические уравнения равновесия с учетом массовых сил

$$\sigma_{ij,j} = F_i, \quad i, j = 1, 2, \quad (4)$$

где  $F_i$  – проекция массовых сил на ось  $i$ .

1. Начальные условия:

- начальная температура прогрева формы равна  $\theta_f^0$ ;

- температура заливки металла равна  $\theta_m^0$ ;

- в недеформированном состоянии напряжения и перемещения на всей расчетной области равны нулю.

К моменту заполнения формы металлом принимается, что температура стенки сердечника (термосифона) равна температуре расплава ввиду малой толщины и высокой теплопроводности. Температурная задача решается в системе «стенка трубы – отливка – футеровка – форма», деформационная – только в отливке.

2. Соотношения осевой симметрии

$$u_3 = 0, \sigma_{13} = \sigma_{23} = \sigma_{31} = \sigma_{32} = 0.$$

3. Граничные условия тепловой задачи  $q|_{\Gamma_1} = 1,6425 \cdot (\theta - \theta_{env})^{\frac{4}{3}}$  (из закона Ньютона-Рихмана с уточненным коэффициентом теплоотдачи конвективного теплообмена со стенки вертикального цилиндра); плотности тепловых потоков через поверхности  $\Gamma_2, \Gamma_3$  раздела сред, существенно различающихся по коэффициенту теплопроводности (металл, футеровка, стенка формы), задаются согласно контактными условиям третьего рода типа Фурье;  $q|_{\Gamma_4} = q_r$  – тепловой поток в термосифон задается исходя из экспериментальных данных по температуре охлаждающей воды на выходе из коллектора термосифона;  $q|_{\Gamma_5} = 1,64 \cdot (\theta - \theta_{env})^{\frac{4}{3}} + \sigma_B \cdot (\theta^4 - \theta_{env}^4)$  (лучистый и конвективный теплообмен с верхней кромки отливки);  $q|_{\Gamma_6} = q|_{\Gamma_7} = q|_{\Gamma_8} = q|_{\Gamma_9} = 0$ .

4. Граничные условия деформационной задачи

- по перемещениям:

$$u_1|_{\Gamma_4} = 0;$$

- по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{11}|_{\Gamma_3} = 0, \sigma_{22}|_{\Gamma_5} = 0, \sigma_{22}|_{\Gamma_{10}} = -p, \sigma_{22}|_{\Gamma_9} = 0;$$

- по касательным напряжениям:

$$\sigma_{21}|_{\Gamma_9} = 0, \sigma_{21}|_{\Gamma_5} = 0, \sigma_{12}|_{\Gamma_3} = 0, \sigma_{12}|_{\Gamma_4} = 0.$$

### Конечно-разностное представление уравнения теплопроводности и итерационная процедура расчета

Величина  $q_m$  в (1) представляет собой удельную по массе мощность внутренних тепловых источников; этот член отличен от нуля только в двухфазной зоне металла – отражает выделение теплоты фазового перехода. Доля твердой фазы определяется правилом рычага по модифицированной фазовой диаграмме Al-Si. На рис. 2 приведен участок такой диаграммы для сплава АЛ9 (массовое содержание кремния 7,5 %).

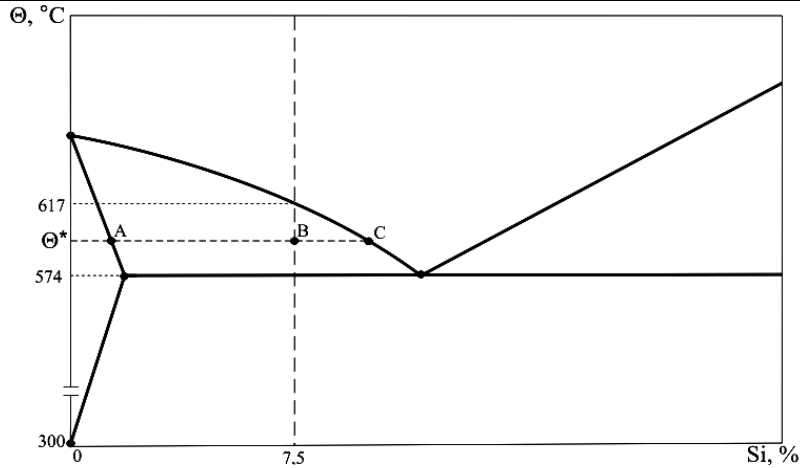


Рис. 2. Модифицированная диаграмма состояния Al - Si

По правилу рычага:  $\psi(\theta^*) = BC/AC$ ,  $\theta \in [\theta_{sol}; \theta_{liq}]$ . Вводя кусочно-линейную аппроксимацию кривых на диаграмме, получим следующее аналитическое представление для сплава АЛ9:

$$\psi(\theta) = \begin{cases} 0,7416 \cdot \hat{\theta} - 0,3361 \cdot (\hat{\theta})^2, & \hat{\theta} = \frac{\theta_l - \theta}{\theta_l - \theta_s} \Leftrightarrow \theta \in (\theta_s + \Delta_{sm}; \theta_l) \\ \sum_{k=0}^4 a_k \cdot (\tilde{\theta})^k, & \tilde{\theta} = \frac{\theta - \theta_s}{\Delta_{sm}} \Leftrightarrow \theta \in [\theta_s - \Delta_{sm}; \theta_s + \Delta_{sm}] \end{cases}$$

$$a_0 = 0,70998, \quad a_1 = -0,45445, \quad a_2 = -0,0286, \quad a_3 = 0,14608, \quad a_4 = 0,01025.$$

Используя методику, описанную в работе [2], перепишем (1) в конечно-разностной форме:

$$\Delta\tau \cdot \sum_{k=1}^2 (q_k^- \cdot F_k^- - q_k^+ \cdot F_k^+) = \rho \cdot V \cdot \Delta\theta \cdot \tilde{C}, \quad \tilde{C} = C - L \cdot \left\langle \frac{d\psi}{d\theta} \right\rangle,$$

где  $L$  – удельная теплота кристаллизации металла;  $\psi(\theta)$  – функция, определяющая долю твердой фазы в двухфазной зоне металла при температуре  $\theta$ ;  $\tilde{C}$  – эффективная теплоёмкость с учетом фазового и структурного переходов;  $\left\langle \frac{d\psi}{d\theta} \right\rangle$  – среднее на температурном интервале значение производной функции выделения твердой фазы. При  $\theta \notin [\theta_{sol}; \theta_{liq}]$  в металле  $\tilde{C} \equiv C$ . По способу аппроксимации пространственных производных используемая схема чисто неявная.

С учетом вышеизложенных соотношений получим:

$$\theta_{i,j}^{(\tau)} = \frac{A_{i,j} \cdot \theta_{i,j}^{(\tau-\Delta\tau)} - TIF + t_1^- \cdot \theta_{i,j-1}^{(\tau)} + t_1^+ \cdot \theta_{i,j+1}^{(\tau)} + t_2^- \cdot \theta_{i-1,j}^{(\tau)} + t_2^+ \cdot \theta_{i+1,j}^{(\tau)}}{A_{i,j} + t_1^- + t_1^+ + t_2^- + t_2^+},$$

$$A_{i,j} = \frac{\tilde{C}_{i,j} \cdot \rho_{i,j} \cdot V_{i,j}}{\Delta\tau}.$$

Здесь  $TIF$  – значение теплового потока в термосифон, не зависящее от температуры. Коэффициенты  $t$  определяются исходя из типа границы теплообмена, выражения для них приведены в табл. 1.

Таблица 1

Выражения коэффициентов  $t$  в зависимости от типа границы теплообмена

Тип границы теплообмена (см. рис. 3)	Выражение для коэффициентов $t$ , $TIF$
Граница между однородными элементами	$t_2^+ = \frac{\lambda_{i,j} + \lambda_{i,j+1}}{\Delta x_{2,i,j} + \Delta x_{2,i,j+1}} \cdot F_2^+$
Граничное условие II рода (нулевой поток на оси симметрии, тепловой поток в термосифон)	$t_2^- = 0, TIF = q_{tr} \cdot F_2^-$
Граничное условие III рода	$t_1^- = \alpha_{NR} \cdot F_1^-$
Контактные условия IV рода	$t_1^+ = \frac{2\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i+1,j}}{\lambda_{i,j} \cdot \Delta x_{1,i+1,j} + \lambda_{i+1,j} \cdot \Delta x_{1,i,j}} \cdot F_1^+$

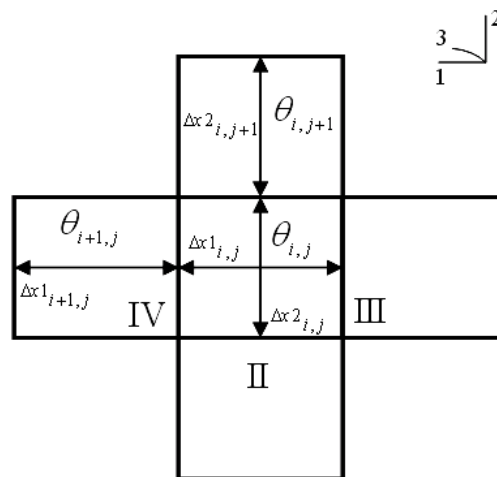


Рис. 3. К записи тепловых потоков при различных условиях теплопередачи

При решении системы уравнений (2), (3), (4) использован численный метод, предложенный В. И. Одиноким в работах [1; 2]. Его особенность заключается в том, что базисными неизвестными при его использовании считаются средние характеристики величин на гранях элементов, образованных системой ортогональных поверхностей, а не значения этих величин в узлах сетки. Определяющая система разностных уравнений включает в себя теплофизические характеристики материалов, а также длины дуг сетки, и одинаковым образом записывается в любой системе криволинейных ортогональных координат. Отыскание решения проводится методом Гаусса-Зейделя напрямую, без составления матрицы коэффициентов СЛАУ до сходимости (отсутствие итеративных изменений в третьем знаке после запятой).

### Результаты расчета

На рис. 4 представлен рост фронта затвердевания с течением времени. Данные результаты представляют интерес для прогнозирования структуры и сокращения некоторых литейных дефектов получаемой отливки путем регулирования теплоотвода от центра.

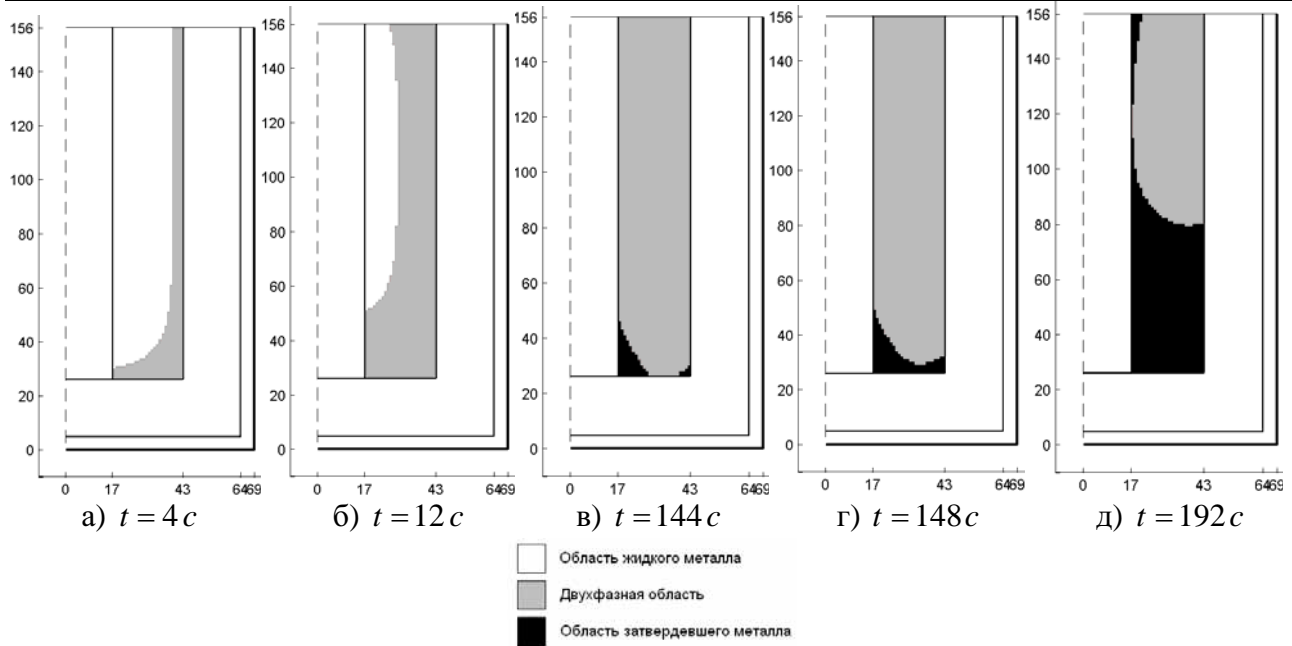


Рис. 4. Движение фронта затвердевания сплава АЛ9 с течением времени: а – при  $t = 4 c$ , б – при  $t = 12 c$ , в – при  $t = 144 c$ , г – при  $t = 148 c$ , д – при  $t = 192 c$

На рис. 5 представлены эпюры напряжений  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  в момент времени, когда указанные напряжения максимально близко приближаются к пределу прочности алюминия на растяжение (для конкретной температуры). В дальнейшем значения напряжений возрастают, но возрастает и предел прочности, поэтому для прогнозирования трещинообразования данный момент времени представляет наибольший интерес. В частности, при изменении начальных условий (температура разливки металла, температура прогрева формы и сердечника) может наблюдаться образование продольной трещины на внутренней поверхности отливки, что и было подтверждено экспериментальным путем.

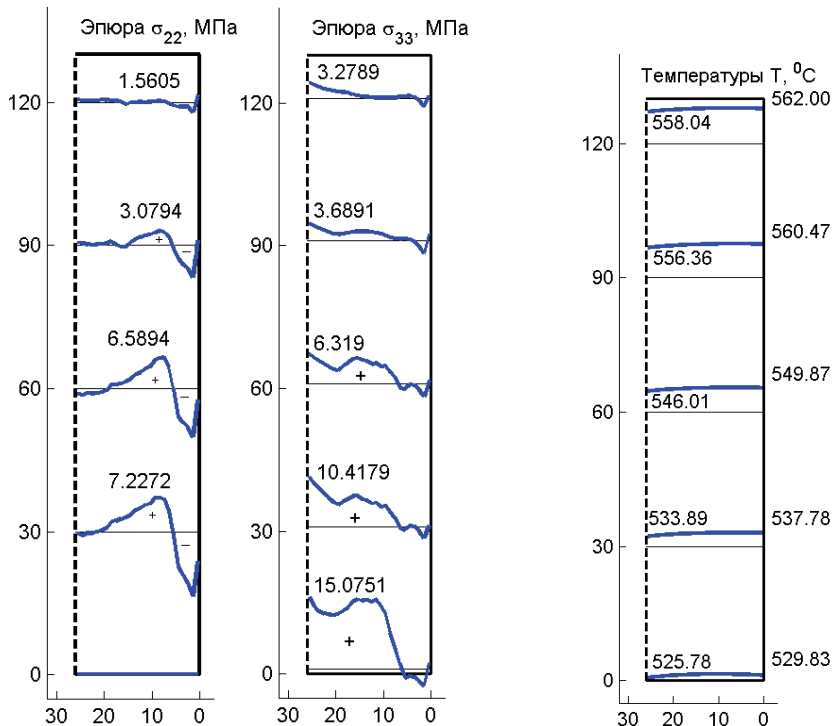


Рис. 5. Напряжения  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  и температуры по сечению отливки



## Выводы

Построена математическая модель процесса затвердевания расплава алюминиевого сплава в футерованной форме с установленным по центру охлаждаемым термосифоном. Для решения системы дифференциальных уравнений модели построена численная схема, алгоритм и программа расчета температурных полей, движущихся границ раздела фаз и соответствующих полей температурных напряжений. Получены поля напряжений в отливке и промоделировано движение границы фронта затвердевания расплава. Полученные значения напряжений не превосходят пределов прочности алюминиевого сплава, что свидетельствует об отсутствии трещин в отливках, получаемых данным способом. Математическая модель может быть использована для расчета температур и напряжений в отливках с другими геометрическими параметрами либо из других сплавов алюминия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 11-01-98500-р\_восток\_a*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование сложных технологических процессов / В. И. Одинокоев, Б. Г. Каплунов [и др.]. – М.: Наука, 2008. – 176 с.
2. Одинокоев, В. И. Численное исследование процесса деформации материалов бескоординатным методом / В. И. Одинокоев. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 168 с.
3. Стулов, В. В. Технологии заливки алюминиевого сплава в футерованную форму при получении полых отливок / В. В. Стулов, А. М. Севастьянов // Литейное производство. – 2010. – № 6. – С. 19-22.

**Рубцов Ю. В., Коннова Г. В., Золотарева С. В.**  
**Y.V. Rubtsov, G.V. Konnova, S.V. Zolotareva**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ШПАЛОЛЕСОПИЛЕНИЯ  
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЩЕПУ**

**A TECHNOLOGY OF RAW WASTE TIMBER CUTTING INTO PULPCHIPS**

**Рубцов Юрий Васильевич** – соискатель ученой степени кандидата технических наук кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vckgpmo@knastu.ru  
**Mr. Yury V. Rubtsov** – PhD Applicant (Engineering), Department of Electric Drive and Automation of Industrial Plants, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vckgpmo@knastu.ru

**Коннова Галина Витальевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vckgpmo@knastu.ru  
**Ms. Galina V. Konnova** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Chemical Production Machinery and Equipment, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vckgpmo@knastu.ru

**Золотарева Светлана Валерьевна** – старший преподаватель кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vckgpmo@knastu.ru  
**Ms. Svetlana V. Zolotareva** – Assistant Professor, Department of Chemical Production Machinery and Equipment, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vckgpmo@knastu.ru

**Аннотация.** Создан и введен в промышленную эксплуатацию технологический комплекс по переработке древесных отходов для целлюлозно-бумажного производства.

**Summary.** A non-waste process of making pulp-chips for the purposes of the pulp-and-paper industry has been tested, approved and brought into industrial operation; a significant economic effect has been attained.

**Ключевые слова:** отходы, технология, технологический процесс, технологическая щепка, сортировки, рубительная машина.

**Keywords:** raw waste, technology, production process, pulp-chips, separators, cutter-type chipper.

УДК 621.891

Создание технологии переработки отходов шпалолесопиления является актуальной задачей, так как рационально используются природные ресурсы. В настоящее время в США древесина используется по безотходной технологии. В России при наличии большой сырьевой базы древесные отходы используются недостаточно.

К числу важнейших видов древесного сырья относятся: балансы, пиловочник, низкокачественная древесина, кусковые отходы, тонкомерная и фаутная древесина, полученная при сплошных рубках и рубках ухода за лесом, отходы лесозаготовок (сучья, вершины, откомлевки) [1].

Для выработки технологической щепы необходимо предварительно удалить с сырья сучья, кору, гниль; осуществить разделку хлыстов на определенные размеры в соответствии



со стандартами. В связи с развитием лесозаготовок в Сибири и на Дальнем Востоке расширяется сырьевая база целлюлозно-бумажного производства.

В Сибирском федеральном округе была разработана уникальная технология окорки шпальника и пиловочника для выработки шпал и пиломатериалов. Отходы от их производства в виде реек, горбыля используются для выработки щепы. По условиям производства Красноярского целлюлозно-бумажного комбината щепка должна быть изготовлена из смеси древесины хвойных пород. Экспериментальные варки продукции из такой щепы показали ее пригодность для бисульфитного способа производства картона в сочетании смеси пород: 25...45 % – ели, 15...25 % – пихты, 30...40 % – заболонной части сосны.

В Красноярском крае ежегодно вырабатывают из толстомерных круглых бревен шпалы для широкой железнодорожной колеи в пределах двух миллионов штук. Около 50 % исходного сырья поступает в отходы, поэтому производство шпал убыточное.

Специалистами Красноярского ЛПК с участием Ю.В. Рубцова [2] была разработана технологическая линия по переработке отходов на щепу из реек и обапола (горбыля) рубительной машиной с горизонтальным расположением загрузочного патрона. Такая машина имеет меньшее число режущих ножей, установленных на диске, и меньшую мощность электропривода. Было предусмотрено двухъярусное расположение оборудования. Ниже нулевой отметки размещены вентилятор ВВД-11У и дезинтегратор АЗ-00. Корпус вентилятора, развернутый на 180° вокруг оси рабочего колеса, обеспечивает рациональное использование промышленной площадки и создает наименьшее сопротивление воздушному потоку по перемещению щепы в бункер. Вентилятор соединен прямым рукавом с приемным патрубком нагнетательного трубопровода через муфту, расположенную между валом рабочего колеса вентилятора и электродвигателем с клиноременной передачей. Вентилятор ВВД-119 стал использоваться для сбора пыли, образуемой рубительной машиной и сортировкой. Фундамент выполнен на втором уровне массивного бетонного фундамента для двух сортировок щепы СЩ-1М на отметке 1,2 м, а рубительная машина установлена на отметке 3,0 м. На самой верхней отметке 6,3 м установлен циклон, воспринимающий воздушно-древесную смесь по измельчению толстой щепы от дезинтегратора АЗ-00. Рубительная машина МРГ-18 установлена на металлических опорах, поддерживающих монолитную железобетонную плиту на высоте 3,2 м. На плите размещены установка оператора, щит электрических коммуникаций, мастерская по ремонтным работам оборудования. Размещение оборудования обеспечивает безотходное производство щепы из отходов деревообработки [2].

Некондиционные пиломатериалы, горбыли перемещаются из деревообрабатывающих цехов на ленточный конвейер 1 (см. рис. 1) и подающий транспортер 2, который движется со скоростью 2,4 м/с. С подающего транспортера сырье поступает в загрузочный патрон 3 рубительной машины МРГ-18. Рубительная машина 4 воспринимает все нагрузки от механизма резания сырья на щепу; конструкция опор железобетонной плиты воспринимает усилия резания, чем обеспечивается безопасность оборудования. Вся щепка поступает на две сортировки СЩ-1М 15. Кондиционная щепка, увлекаемая потоком воздуха от вентилятора 8, системой пневмотранспорта 9 пересыпается по лотку 6, через шлюзовой затвор 7 по пневмоприводу перемещается через циклон 10 в бункер 11.

Щепка крупной фракции ссыпается с верхних сит сортировок 15 на ленточный конвейер 5, который перемещает ее в дезинтегратор 12. Измельченная щепка через циклон 13 возвращается на одну из сортировок. После полной сепарации мелкие фракции и опилки через боковое отверстие и рукав сортировок ссыпаются по наклонному желобу на сборочный транспортер 14, который перемещает их к элеватору для подъема в бункер гидролизного сырья. Опилки и мелкие фракции щепы предприятие поставляет на биохимический завод, а технологическую щепку – целлюлозно-бумажному комбинату. При отправке каждого щеповоза осуществляется оперативный контроль количества и качества вырабатываемой щепы по ГОСТ 15815-83. Щепка технологическая. Особенностью пневмотранспортной установки является то, что щепка перемещается воздушным потоком в герметичном трубопроводе. Воздух

в трубопровод подается нагнетательной системой воздуходувной машины, а измельченная древесина – через всасывающие приемники и загрузочные устройства (питатели). Отделение щепы от воздуха в конце трубопровода производится в циклонных накопителях.

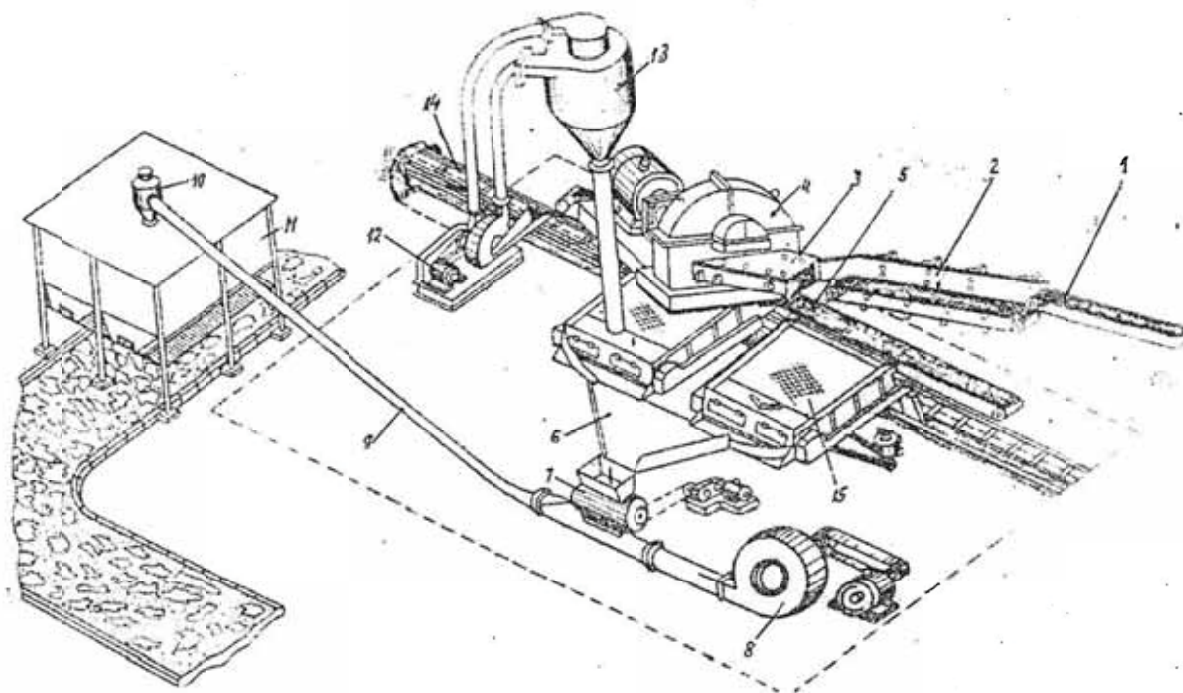


Рис. 1. Технологическая линия по переработке отходов на щепу

Предложенная технологическая линия мощностью 51 тыс. м<sup>3</sup> в год была сдана в промышленную эксплуатацию и дала экономический эффект свыше 4 млн р. в год.

Несмотря на значительный период, технология не потеряла своей актуальности, так как критерием качества щепы является стандартный выход фракции, а качества срезов – размерность щепы.

За научные разработки, создание проекта технологической линии по производству щепы, введение его в эксплуатацию специалисты Красноярского ЛПК с участием Ю.В. Рубцова [2] были награждены бронзовой медалью ВДНХ и денежной премией.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник / Росстат. – М.: Официальное издание 2006. – 66 с.
2. Рубцов, Ю. В. Линия по выработки технологической щепы / Ю. В. Рубцов, А. И. Гомонов. – М.: РЖ ВНИПИЭлеспром, Механическая обработка древесины. – № 16. – 1970. – 5 с.



**Ковбасюк А. А., Сарилов М. Ю.**

**A.A.Kovbasyuk, M.U.Sarilov**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ  
ЗА СЧЕТ НАЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING DUE  
TO IMPOSITION OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD**

**Ковбасюк Арнольд Артурович** – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: arni555@bk.ru

**Mr. A.A.Kovbasyuk** – PhD Candidate, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia. E-mail: arni555@bk.ru

**Сарилов Михаил Юрьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sarilov@knastu.ru.

**Mr. M.Yu.Sarilov** – Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia. E-mail:sarilov@knastu.ru.

**Аннотация.** В статье рассмотрен способ создания и наложения внешнего магнитного поля на процесс электроэрозионной обработки. Описан эксперимент по исследованию влияния постоянного магнитного поля на электроэрозию. Показаны положительные стороны влияния внешнего магнитного поля на процесс электроэрозионной обработки.

**Summary.** The paper deals with ways of creating and imposing an external magnetic field upon electrical discharge machining process. We describe an experiment investigating how constant magnetic field impacts spark-erosion. Positive side effect of an external magnetic field imposed upon electrical discharge machining process are demonstrated.

**Ключевые слова:** электроэрозионная обработка, магнитное поле, индукция магнитного поля, ферромагнитные частицы, силовые линии магнитного поля, эвакуация.

**Key words:** spark machining, magnetic field, field density, ferromagnetic particles, magnetic field lines, evacuation.

УДК 621.9.048.4

Электроэрозионная обработка используется в производстве с целью получения заготовок с помощью пластинчатого, дискового, ленточного или проволочного инструмента; прошивания отверстий, окон и щелей, каналов аэродинамического профиля, объемного копирования для получения рабочих форм; маркирования деталей в виде тел вращения, шлифования с целью снятия припусков с твердосплавных заготовок, магнитопроводов и магнитов; вырезания проволочным электродом для изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов, например вырубных штампов; упрочнения с целью улучшения физико-химических свойств приповерхностного слоя деталей.

Процесс основан на разрушении поверхности электродов действием электрических разрядов или сквозного тока, или совместным их действием.

Современное оборудование широко оснащается электронными устройствами, измерительными средствами, системами автоматического управления, надежными исполнительными устройствами. Но, несмотря на большие успехи в промышленном внедрении, процесс электроэрозионной обработки до сих пор не избавлен от недостатков: износ инструмента, недостаточная производительность в режимах, обеспечивающих высокую точность, наличие

**Ковбасюк А. А., Сарилев М. Ю.**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЕТ НАЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

у деталей технологической наследственности.

Для того чтобы решать вышеуказанные проблемы и повышать качество, точность и производительность электроэрозионной обработки, возможно использовать различные подходы к проведению процесса. Одним из таких подходов является внедрение внешнего магнитного поля в электроэрозионную обработку.

В различных литературных источниках отмечено подобное влияние. К примеру, Б.А. Артамонов [2] указывает на влияние внешнего магнитного поля на напряжение пробоя. С ростом магнитной индукции, направленной нормально к поверхности ферромагнитных электродов, увеличивается значение пробивного зазора. Это может объясняться воздействием поля на частицы материала электродов, ранее выброшенного из лунок. На ферромагнитные частицы действуют силы, пропорциональные градиенту неравномерного поля, а также силы взаимного притяжения намагничиваемых частиц. Это может привести к сосредоточению или образованию цепочки частиц, что уменьшает ту часть зазора, которая приходится на саму диэлектрическую среду.

К.К. Намитокон [1] при анализе движения ферромагнитных частиц в процессе электроэрозионной обработки отмечает, что под действием внешнего магнитного поля частицы начинают совершать вращательное движение. Причем радиус вращения возрастает по мере увеличения индукции магнитного поля.

Однако вышеуказанные данные не дают точного представления о том, как влияет магнитное поле на качество обрабатываемой поверхности, на точность обработки и т.д.

С целью получения более полной картины влияния внешнего магнитного поля на электроэрозию был проведен следующий эксперимент. Предварительно с помощью двух магнитов было получено магнитное поле, магнитные силовые линии которого представлены на рис. 1. Конфигурация поля подбиралась таким образом, чтобы частицы, попадающие под действие поля, выталкивались из зоны обработки, которая должна находиться строго между магнитами.

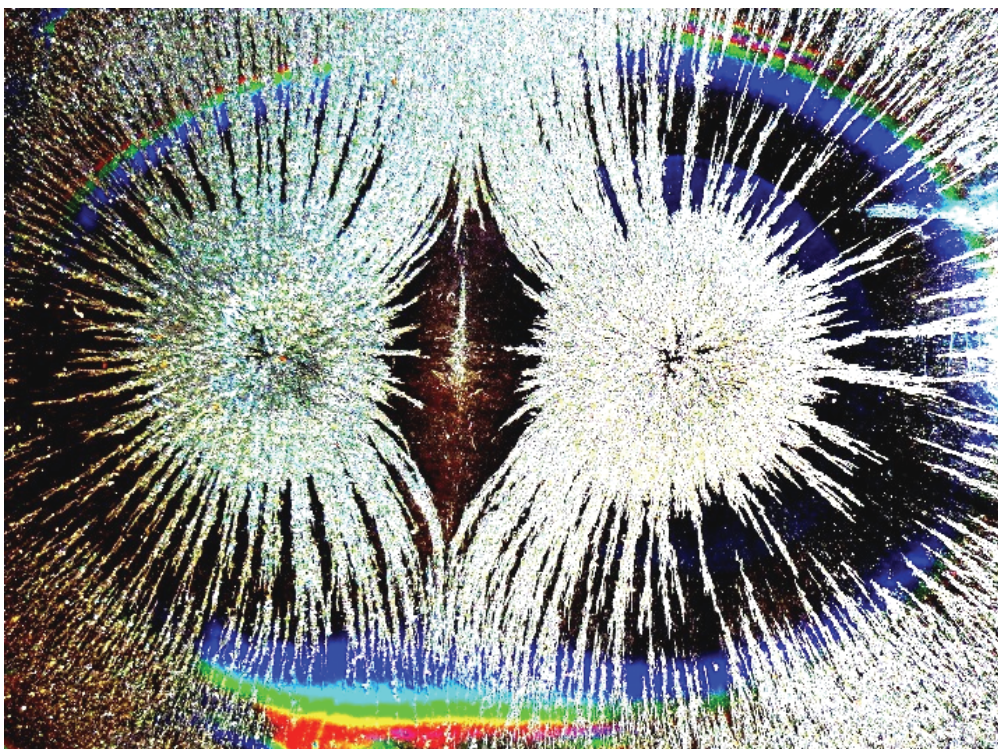


Рис. 1. Конфигурация магнитного поля

Магнитное поле можно также создавать катушками, помещаемыми в зону обработки.

Далее магниты в выбранном положении помещались в зону обработки таким образом (рис. 2), чтобы стальная заготовка, подвергаемая обработке, находилась между магнитами. Поскольку магниты создают статическое магнитное поле постоянной частоты, результаты эксперимента можно использовать для анализа влияния постоянного поля на обработку.



Рис. 2. Процесс обработки с магнитами

Для того чтобы частицы, снимаемые с поверхности, уходили из зоны обработки, необходимо силовое воздействие, чтобы нарушить созданное стационарное состояние. В качестве такого воздействия выступают импульсы, возникаемые в процессе обработки. За счет них частицы начинают процесс эвакуации.

Взаимосвязь между напряженностью магнитного поля и радиусом движения частицы описывается выражением

$$r = r_0 + \frac{1}{12} \left( \frac{ev_0 H}{mc} \right) \frac{t^4}{r_0^3}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус движения частицы (иона);  $r_0$  – начальный радиус движения частицы (без действия магнитного поля);  $e$  – величина заряда электрона;  $v_0$  – скорость иона до действия магнитного поля;  $H$  – напряженность магнитного поля;  $m$  – масса частицы;  $c$  – скорость света;  $t$  – время действия магнитного поля

После некоторого времени обработки магниты были извлечены. Необходимо отметить, что часть шлама осела на магнитах (рис. 3), что подтверждает предположения о влиянии магнитного поля на процесс электроэрозионной обработки.

Результаты эксперимента подтвердили справедливость выражения (1), полученного теоретически.

Следует отметить ряд положительных особенностей влияния магнитного поля. Шлам начинает более интенсивно удаляться из зоны обработки. Это повышает качество обрабатываемой поверхности, характеризующееся шероховатостью, так как уменьшается вероятность появления оксидной пленки, образующейся при сжигании частиц шлама.



Рис. 3. Магнит после процесса

При обработке ферромагнитных материалов заготовка намагничивается, и продукты эрозии налипают на её поверхность, что ухудшает показатели качества и точности получаемой детали. Таким образом, изменяя конфигурацию магнитного поля, можно воздействовать на движение продуктов эрозии и в конечном счете на производительность процесса, точность и качество обработки.

При определенных условиях обработки существуют оптимальные сочетания силы рабочего тока и индукции внешнего магнитного поля, при которых возможно достигнуть наилучших результатов в удалении продуктов эрозии из зоны обработки и снижении износа электрода-инструмента. С другой стороны, увеличение индукции магнитного поля выше определенного значения может вызвать снижение скорости движения продуктов эрозии, что может привести к их закупорке, а это негативно скажется на показателях процесса.

Поскольку математически получить данные зависимости достаточно сложно (при этом нужно учитывать различные факторы, влияющие на процесс, в том числе и действие диэлектрической жидкости, её скорость и состав), то получать необходимые параметры тока и индукции возможно экспериментально.

Нами был показан пример влияния постоянного магнитного поля на электроэрозионную обработку. Если же в качестве внешнего воздействия использовать переменное либо нестационарное магнитное поле, можно добиться еще более высоких показателей, так как могут меняться свойства обрабатываемой заготовки, диэлектрической жидкости, что в конечном итоге может дать более высокую эффективность электроэрозии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Намиток, К. К. Электроэрозионные явления / К. К. Намиток. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
2. Артамонов, Б. А. Анализ моделей процессов электрохимической и электроэрозионной обработки / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков. – Ужгород: Произв.-изд. комбинат «Патент», 1991. – 144 с.



Бурдасов Е. Н., Сарилов М. Ю.  
E.N. Burdasov, M.U. Sarilov

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ  
ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

**INVESTIGATION OF THE STABILITY OF EDM PROCESSING BASED ON FRACTAL  
ANALYSIS**

**Бурдасов Евгений Николаевич** – аспирант кафедры МАХП Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

**Mr. Eugeny N. Burdasov** – PhD candidate, MECP Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vckgpmo@knastu.ru

**Сарилов Михаил Юрьевич** – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

**Mr. Mikhail U. Sarilov** – Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены аспекты анализа акустического сигнала по параметрам нелинейной динамики (размерность и вид аттрактора, спектр частот сигнала). Проведён анализ сигнала акустической эмиссии на предмет корреляции шероховатости поверхности, полученной в результате электроэрозионной обработки, и параметров нелинейной динамики, таких как фрактальная размерность и информационная энтропия.

**Summary.** The paper deals with some aspects of the analysis of an acoustic signal by nonlinear dynamics' parameters (the dimensions and type of the attractor, the frequency spectrum of the signal). Analysis was done of an acoustic emission signal for the correlation of the roughness of a surface made by electrical discharge machining, and of the parameters of nonlinear dynamics, such as fractal dimensions and informational entropy.

**Ключевые слова:** нелинейная динамика, электроэрозия, фрактальная размерность, шероховатость, корреляция.

**Key words:** nonlinear dynamics, electrical discharge machining, fractal dimensions, surface roughness, correlation

УДК 621.9.047

Постоянная тенденция к использованию более легких деталей, а также применение моделирования и разработка новых методов расчёта заготовок ведут к созданию деталей всё более сложных геометрических форм. Современное производство характеризуется широким внедрением станков с ЧПУ, входящих в гибкую производственную систему, что подразумевает высокие (повышенные) требования к точности изготовления изделия.

Это обстоятельство обуславливает необходимость прогнозирования динамической устойчивости процесса электроэрозионной обработки в режиме реального времени [1].

Одна из главных идей представления сигналов на различных уровнях разложения (декомпозиции) заключается в разделении функции на две составляющие: аппроксимирующая с низкой детализацией изменений во времени, и детализирующая – с подробной (детализированной) динамикой изменений, с возможностью дальнейшего их разбиения и детализацией на соседних уровнях детализации сигналов. Новое направление цифровой обработки сигналов – вэйвлет-анализ – делает это возможным как во временной, так и в частотной областях представления сигналов в режиме реального времени. У преобразования Фурье есть суще-

**Бурдасов Е. Н., Сариллов М. Ю.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ственный недостаток, который заключается в невозможности локализовать высокочастотные компоненты сигнала во времени, что не позволяет применять данный метода к некоторым задачам (например, при рассмотрении на временном отрезке динамики изменения частотных составляющих сигнала) (см. рис. 1 – 3).

В случае, когда не ставится задача локализации во времени частот сигнала, хорошие результаты можно получить и методом Фурье. Но если требуется определить присутствие частоты в определённый момент времени, необходимо использовать другие методы. Для исследования сигналов АЭ, возникающих при электроэрозионной обработке, и выявления зависимостей между параметрами сигнала и шероховатостью поверхности был создан стенд на электроэрозионном станке копировально-прошивочного типа с адаптивным управлением и генератором импульсов ШГИ 40-440М модели 4Л721Ф1 и проведён замер ряда параметров нелинейной динамики в процессе электроэрозионной обработки

При переходе от стабильного режима к предкритическому наблюдается смещение спектра доминирующих частот в сторону более высокочастотных компонент (см. рис. 2, з). Размерность аттрактора увеличивается.

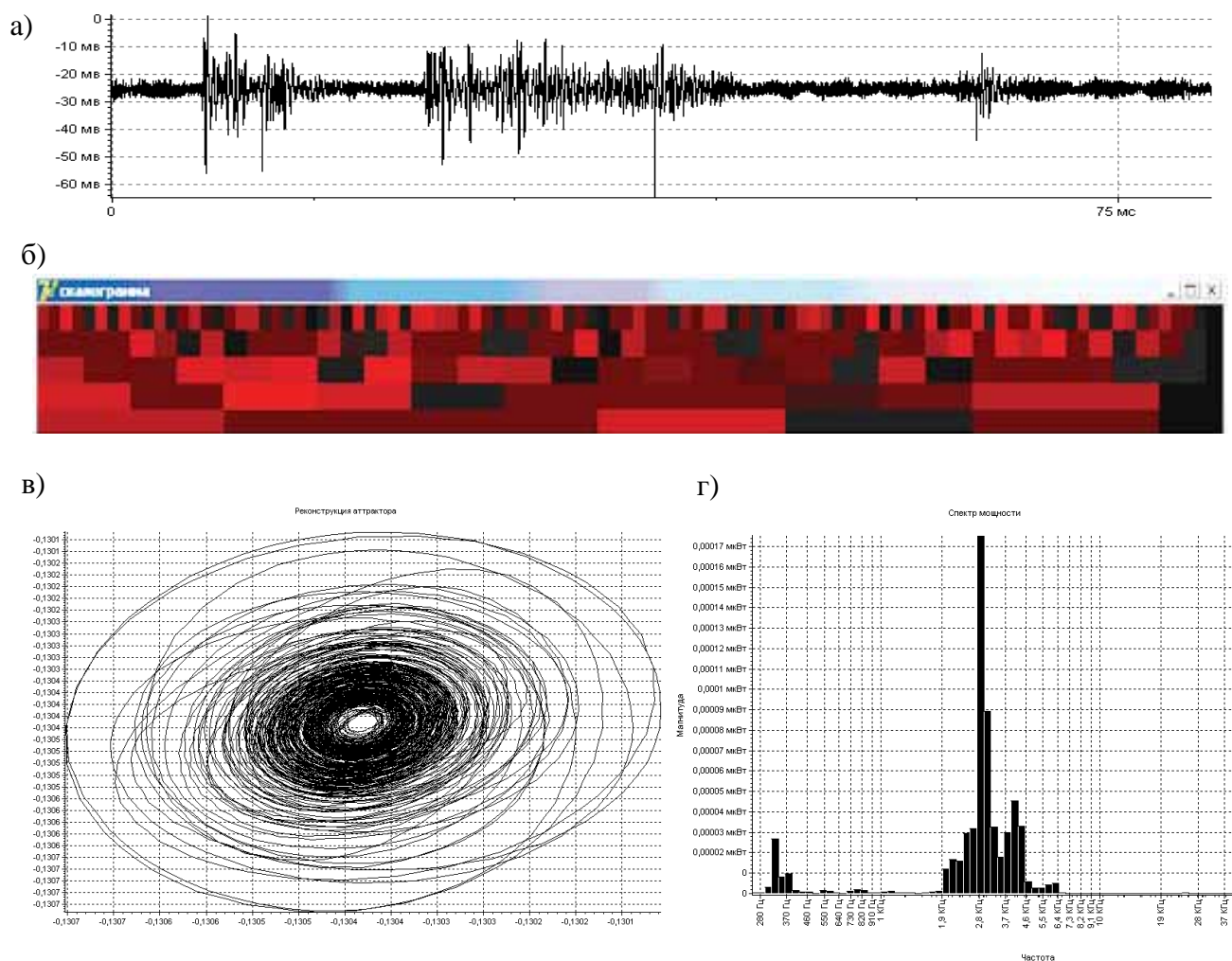


Рис. 1. Стабильный режим в начале обработки,  $I = 4$  А,  $U = 30$  В (частота 22 кГц, скважность 1,1): а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

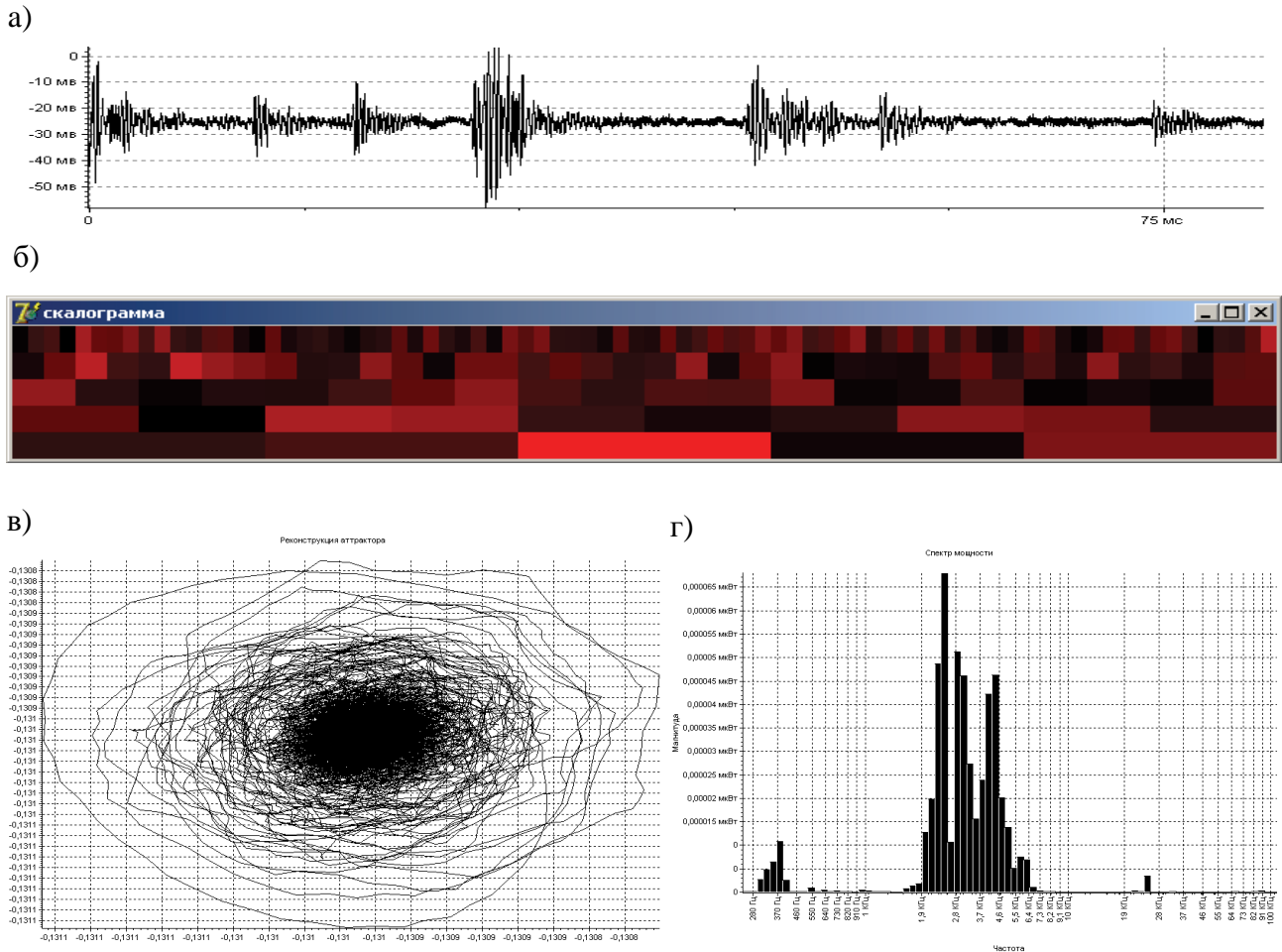


Рис. 2. Предкритический режим,  $I = 6$  А,  $U = 5$  В (частота 8 кГц, скважность 1,13):  
а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

Как видно, выделяются все более высокие частоты, которые характеризуют процесс электроэрозионной обработки (см. рис. 3, б).

На критическом режиме работы оборудования зарегистрировано появление в спектре частот высокочастотных шумовых составляющих, а размерность аттрактора изменяется в большую сторону (см. рис. 3, в, рис. 3, г).

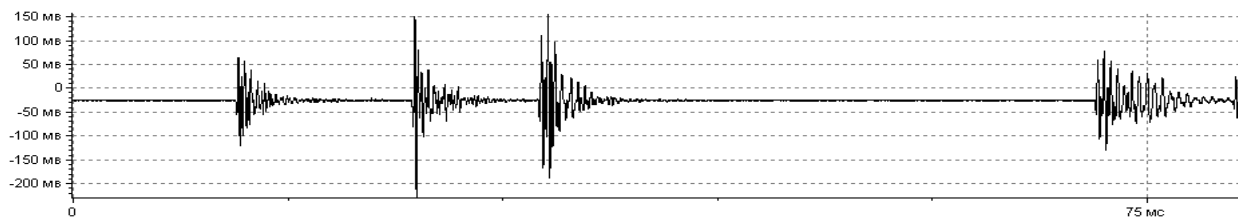
Помимо спектра сигнала и аттрактора, для оценки различных процессов в нелинейной динамике существуют некоторые другие критерии. Для оценки устойчивости в качестве критериев используется фрактальная размерность, старший показатель Ляпунова и информационная энтропия [2]. Основное их достоинство – количественная оценка устойчивости процесса. В Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете разработана программа DynAnalyzer для расчета фрактальной размерности методом поточечной размерности (все расчеты производились с помощью данной программы), построения аттракторов, расчета показателя Ляпунова и некоторых других динамических характеристик акустического сигнала.

В результате проведения серии опытов был снят сигнал акустической эмиссии. Сигнал обрабатывался с помощью программы DynAnalyzer.

В каждом из проведённых опытов проводилось независимое изменение параметров скважности и частоты. Значения скважности  $q$  варьировались в диапазоне от 1,1 до 4, а частота  $f$  – в пределах значений от 3 до 22 кГц.

**Бурдасов Е. Н., Сариллов М. Ю.**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ**  
**ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

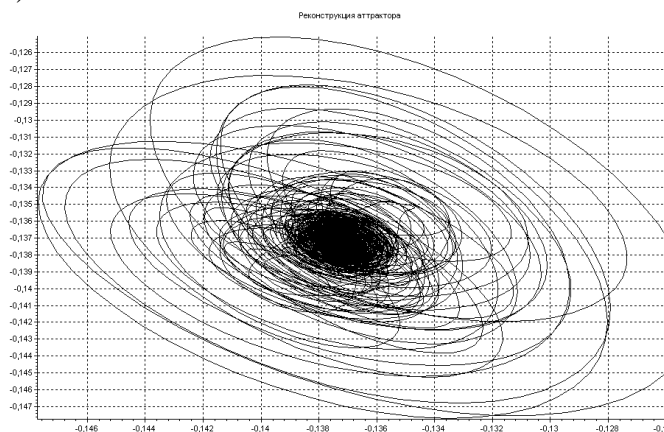
а)



б)



в)



г)

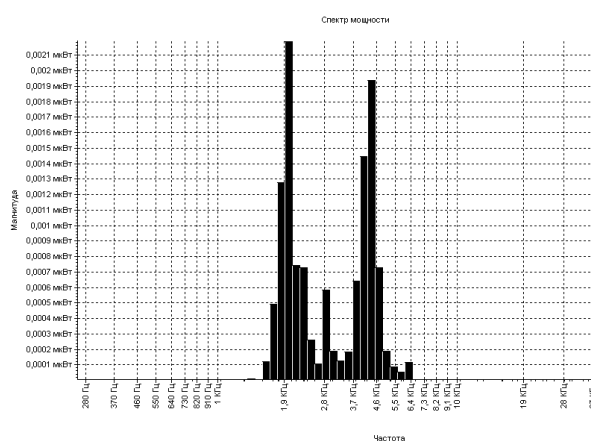


Рис. 3. Критический режим,  $I = 10$  А,  $U = 10$  В (частота 3 кГц, скважность 1,15):  
 а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

В ходе анализа полученных данных были составлены два ряда значений: шероховатость образца и соответствующая им величина фрактальной размерности. Эти зависимости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал заготовки	Изменяемый параметр			
	Скважность $q$		Частота $f$	
	$Ra$	$D0$	$Ra$	$D0$
BT20	13,11	1,012504	8,62	1,008393
	14,39	1,016340	5,63	1,004201
	11,05	1,011601	12,08	1,006567
	11,65	1,013062	12,01	1,009617
	7,12	1,002506	9,13	1,007187
	8,33	1,006848	8,62	1,006593

После этого была установлена корреляция между числовыми величинами шероховатости материала и соответствующей ему фрактальной размерности сигнала. Определение коэффициента корреляции проводилось с помощью программы из пакета MS Office 2003 – Excel, с использованием значений, полученных с помощью программы, разработанной в



Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете – DynAnalyzer, которая позволяет рассчитывать критерии и показатели нелинейной динамики, такие, как: фрактальная размерность  $D0$ , информационная энтропия  $H$ , показатель Ляпунова  $\lambda$ . В результате были получены следующие значения коэффициентов корреляции (BT20 – обрабатываемый материал, медь M1 – материал ЭИ) (см. табл. 2).

Таблица 2

Изменение скважности $q$			Изменение частоты $f$		
	$Ra$	$D0$		$Ra$	$D0$
$Ra$	1	0,965514	$Ra$	1	0,690106
$D0$	0,965514	1	$D0$	0,690106	1

Из данных, приведенных в табл. 2, видно: как при изменении скважности, так и при изменении частоты наблюдается высокая степень корреляции полученных пар значений (шероховатость и фрактальная размерность). Полученные значения лежат в диапазоне от 0,69 до 0,96, и большая их часть имеет значения выше 0,75, что свидетельствует о высокой степени коррелирования двух сигналов. Следовательно, можно говорить о зависимости между значением шероховатости образца  $Ra$  и значением фрактальной размерности  $D0$ .

Проанализировав данные, полученные при неизменных значениях таких параметров, как частота и скважность, мы пришли к выводу, что и в этом случае также наблюдается корреляция значений фрактальной размерности сигнала виброакустической эмиссии и значений шероховатости поверхности, получаемой в результате обработки. Причем указанная корреляция проявляется на каждом из режимов обработки поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кабалдин, Ю. Г. Моделирование динамики процесса резания на основе фрактального и вейвлет анализа / Ю. Г. Кабалдин, С. В. Серый, Е. Н. Бурдасов. // Вестник машиностроения. – 2006. – №11. – С. 37-44.
2. Сариллов, М. Ю. Исследование критериев корреляции между параметрами нелинейной динамики и шероховатостью поверхности при электроэрозионной обработке / М. Ю. Сариллов, Е. Н. Бурдасов // Вестник машиностроения. – 2008. – № 12. – С. 52-55.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ  
METALLURGY AND MATERIALS TECHNOLOGY

**Верхотуров А. Д., Шпилёв А. М., Евстигнеев А. И., Коневцов Л. А.**  
**A.D. Verhoturov, A.M. Shpilyov, A.I. Yevstigneyev, L.A. Konevtsov**

**МОНОГРАФИЯ М.В. ЛОМОНОСОВА «ПЕРВЫЕ ОСНОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИИ, ИЛИ РУДНЫХ ДЕЛ» И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ (К 300-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ М.В. ЛОМОНОСОВА)**

**MIKHAIL LOMONOSOV'S MONOGRAPHY «THE BASICS OF METALLURGY, OR ORE MINING» AND ITS VALUE FOR TODAY'S SCIENCE AND EDUCATION (TO THE 300<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF M.V.LOMONOSOV)**



**Верхотуров Анатолий Демьянович** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.

**Mr. Anatoly D. Verhoturov** – Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher of the Institute of Water and Environmental Problems, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.



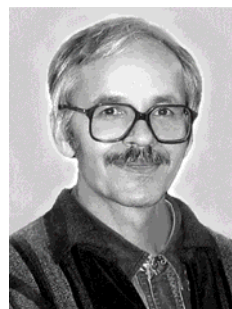
**Шпилёв Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, ректор Комсомольского-на-Амуре технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: rector@knastu.ru

**Mr. Anatoly M. Shpilyov** – Doctor of Engineering, Professor, Rector of Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail:rector@knastu.ru.



**Евстигнеев Алексей Иванович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Комсомольского-на-Амуре технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: prorector-nr@knastu.ru

**Mr. Alexey I. Yevstigneyev** – Doctor of Engineering, Professor, Provost for Research, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail:prorector-nr@knastu.ru.



**Коневцов Леонид Алексеевич** – научный сотрудник УРАН Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: konevts@narod.ru.

**Mr. Leonid A. Konevtsov** – Researcher, Institute for Materials Technology, City of Khabarovsk Scientific Centre, the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk). AnE-mail: konevts@narod.ru.

**Аннотация.** В работе отражено гениальное творческое наследие М.В. Ломоносова в связи с вкладом его в науку о материалах с 1741 по 1763 гг. от «Оснований металлургии» до полного опубликования своего труда с «Прибавлениями». Отражена “цепочка” достижения блага России по Ломоносову, которую авторы назвали “дугой Ломоносова” в круговороте вещества и материалов и которую

практически заново начинают открывать учёные, например, Германии. Его произведения, связанные с наукой о материалах, гармонично входят в один из доминирующих секторов круговорота вещества и материалов во “второй природе”, что рассматривается современной наукой о материалах. В работе отмечается, что побудительным мотивом гениальной деятельности М.В. Ломоносова являлись не только его природные данные, но и выбранное им основное направление творчества – благосостояние России.

**Summary.** The paper deals with Mikhail V. Lomonosov's great scientific heritage in what relates to his contribution to materials science, during the period from 1741 (first publication of the “Basics of Metallurgy”) till 1763 (a complete publication of the work with "Supplements"). Lomonosov's "chain of country's prosperity" is considered, named herein «the chain of Lomonosov», in the cycle of matter and materials; today this idea is being revived practically anew, for instance, in Germany. His papers and books on materials science harmoniously relate to state-of-the-art science about materials, namely to one of the currently dominating sectors of the cycle of matter and materials in “the second nature. The paper demonstrates that one of the incentives of M.V.Lomonosov's ingenious work was, apart from his natural talents, his main goal and basic idea – to ensure Russia's prosperity and economic success.

**Ключевые слова:** Metallurgy, рудное дело, М.В. Ломоносов, круговорот веществ в природе

**Key words:** Metallurgy, mining business, M.V. Lomonosov, the cycling of matter in nature.

УДК: 669



*«Когда мы любим, гордимся Отечеством – это значит, что мы любим, гордимся его Великими людьми».*

*И. П. Павлов*

### Введение

270 лет назад, в 1741 г. М.В. Ломоносов (1711-1765) возвратился в Россию после учёбы на Западе, чтобы выполнить свои планы и мечты, которые созрели ещё до поездки в Германию, но особенно явственно обозначились за рубежом. Можно предположить, что после прибытия на учёбу в Германию, а затем в Голландию он был поражён высоким уровнем развития науки, техники, культуры, а также возможностями граждан этих стран в

получении образования, медицинской помощи, правовой защиты.

Будучи страстным патриотом России, Ломоносов, так же как и Пётр I, хотел и мечтал перенести достижения Запада в области культуры, науки, производства («художеств», по выражению М.В. Ломоносова) на российскую «почву» (см. рис. 1). В каждой из этих областей человеческой деятельности и Пётр I, и Ломоносов внесли громадный вклад в развитие России и мирового сообщества, конечно же, не щадя своих сил и здоровья (оба не дожили до 55 лет).

Ломоносов не только усвоил европейские достижения в науке, металлургии, философии и культуре, но и получил результаты, превосходящие западные достижения в некоторых областях человеческой деятельности. Справедливо В.И. Вернадский писал [1]: «Было то, что в эпоху перестройки своей культуры на европейский лад Россия не только имела государственного человека типа Петра I, но и научного гения в лице Ломоносова».



Рис. 1. Схема достижения Блага России по Ломоносову

Анализу творчества М.В. Ломоносова посвящено громадное число работ, которые, на наш взгляд, односторонне рассматривают его деятельность в области науки и «художеств», основной целью которых было Благо России, а не просто «добыча» новых знаний. Он считал, что Благом России, прежде всего, являются высокоразвитая промышленность, сельское хозяйство, а их основой является металл [12; 14; 16]. Он писал: «Между художествами первое место, по моему мнению, имеет металлургия, которая учит находить и очищать металлы и другие минералы. Ибо металлы подают укрепление и красоту важнейшим вещам, в обществе потребном. Ими защищаются от нападения неприятельского, ими утверждаются корабли и, силою их связаны, между бурными вихрями в морской пучине безопасно плавают. Металлы отверзают недро Земное к плодородию. И, кратко сказать, ни едино художество, ни едино ремесло простое употребление металлов миновать не может».

Однако, рассматривая и анализируя творчество Ломоносова, большинство исследователей обращают внимание на его работы и достижения в области химии, физики, а работы в области металлургии лишь упоминаются, а иногда и вообще не упоминаются [4-5; 15; 18]. В [4] категорично отмечается, что основная деятельность Ломоносова осуществлялась в физике и химии.

Можно отметить одну из немногочисленных работ, посвящённых трудам Ломоносова в области металлургии, – статью известного металловеда Г.В. Самсонова «М.В. Ломоносов и металлургическая наука» [19], где автор отмечает, что после Ломоносова металлургия превратилась из ремесла в научную дисциплину. Следует отметить, что автор просмотрел и проанализировал только часть работ Ломоносова по металлургии и горному делу, касающуюся химии, приборной базы его исследований. Однако труды Ломоносова охватывают большой комплекс работ, связанных с поиском полезных ископаемых, их добычей, обогащением, подготовкой к плавлению, получению металлов и материалов, а

также некоторым вопросам экологии на рудных предприятиях. Эти труды связаны в современном представлении с геологией, горным делом, металлургией и экологией и требуют комплексного и системного подходов.

В связи с этим в данной работе представлена попытка показать, что работы Ломоносова по металлургии, горному делу являются основой его творчества, направленного на благополучие России, а также показать значение его работ для современных наук, техники и образования. В работе использовались исторический и системный подходы к изучению тенденций в развитии металлургии.

### Основы металлургии и горного дела – ведущая работа в творчестве Ломоносова

М.В. Ломоносов ещё до учёбы в Германии и затем во время учёбы (1739-1741) выполнил ряд научных работ, в том числе по атомно-корпускулярной физике (см. рис. 2).



Рис. 2. Схема последовательности работ Ломоносова

Эти работы были связаны с необходимостью изложения его материалистических естественнонаучных и философских взглядов на строение вещества, что требовалось для его дальнейшей работы. Затем в работе «Элементы математической химии» Ломоносов, в противоположность идеалистической философии, обратил внимание на материалистическое объяснение строения вещества и природы: «О том, что существует и совершается в смешанном теле». Эти первые научные работы были необходимой основой и предтечей его работ по металлургии и горным наукам («химической металлургии»). Можно предполагать, что основную свою работу по металлургии и горному делу он задумал ещё в Германии, где тщательно изучил не только научные работы по горному делу (в том числе по геологии) и металлургии, но и последние практические достижения в этих областях.

Он писал: «Когда в Саксонии на Фрейбургских заводах я обучался химии и рудному делу... для того, что простиралось моё внимание больше к практике, которая везде была перед глазами. Но как возвратясь в Отечество, при сочинении сей книжицы, (что было 1742 года) просматривал я разных авторов о рудных делах, и притом Георгия Агриколу» [14].

То есть сразу же по прибытии в Россию Ломоносов стал «сочинять книжицу» – «Основания металлургии, или рудных дел», так как считал, что производство металлов – одно из важнейших направлений развития страны к её Благу. Обращаясь к Екатерине II, он писал: «Военное дело, купечество, мореплавание и другие государственные нужные учреждения неотменно требуют металлов, которые до просвещения, от трудов Петровых просиявшего, почти все получаемы были от окрестных народов...» [Посвящение]. Написанная в 1743 г. «книжица» (о первых основах металлургии) отражала накопленный мировой, за последние 200 лет, опыт в металлургии, горном деле, начиная от работы Агриколы («О металлах», 1556 г.). Конечно, труд Ломоносова отражал в основном опыт горного дела и металлургии Германии, одной из ведущих стран в этой области. Однако можно полагать, что

Ломоносов видел неполноценность своего труда, в котором было недостаточно материалов по поиску полезных ископаемых, снабжению воздухом горных выработок. Однако, самое главное, поиск полезных ископаемых, горное дело и металлургия не имели научной основы, что не способствовало их дальнейшему развитию. Обогащение этих «художеств» достижениями физики, химии, математики стало главным направлением его творчества. Писал он свою «книжицу» практически до конца жизни (см. рис. 2). И только в конце 1763 г. он решился опубликовать окончательный вариант «Металлургии, или рудных дел».

Обращаясь к Екатерине II, он писал: «Металлургия как предводительница к сему внутреннему богатству не обвиняясь притекает в покровительство Вашего высокоmaterного попечения, каковым пользуются другие науки, паче же те, кои простираются к размножению домашних достатков. Краткое сие наставление о рудных делах, которое, полагаю, с преднаписанием всепресветлейшего имени Вашего императорского величества издать в свет для того принял дерзновение, дабы верные Ваши подданные, оною сиянием озаряемы и предводимы вящше и вящше вникали разумом и рачением в земные недра к большему приращению государственной пользы...» [14].

Таким образом, Ломоносов в своём последнем труде уже причисляет металлургию к науке, которая приносит пользу человеку и государству. Кроме того, Ломоносов хотел, чтобы его труд был востребован обществом для пользы государства Российского. Его работа стала практическим и теоретическим пособием для многих поколений русских горняков и металлургов. И в настоящее время она является ценным пособием для изучения комплекса наук о получении материалов.

По существу, работа Ломоносова «Первые основания металлургии, или рудных дел» была его первой и последней основной работой. Книга состоит из 5 частей: *Часть 1.* О металлах и с ними в земли находящихся других минералах. *Часть 2.* О рудных местах и жилах и о прииске их. *Часть 3.* О учреждении рудников. *Часть 4.* О пробе руд и металлов. *Часть 5.* О отделении металлов.

При издании «Первых оснований металлургии» в 1763 г. дополнительно внесено «Прибавление 1. О движении воздуха в рудниках» и «Прибавление 2. О слоях земных». Таким образом, в последней изданной работе Ломоносов рассматривал вопросы в этом направлении комплексно: геология – горное дело – обогащение – металлургия – очистка воздуха.

Интересно отметить, что Ломоносов, описывая случайные открытия месторождений в Германии, приводит первые «изобретения металлов» также волею случая, которое изложено в «Природе вещей» Лукреция Кара, первого Римского стихотворца и Философа (I в. до н.э.). По его мнению, в древности появление металлов связывалось с лесными пожарами, когда [10]:

*«С великим шумом огонь коренья древ палил;  
Тогда в глубокой дали лились ручьи из жил,  
Железо и свинец, и серебро топилось,  
И с медью золото в пристойны рвы катилось».*  
(Перевод М.В. Ломоносова)

Следует отметить, что Лукреций и Эпикур были последователями учения Демокрита – основателя учения об атомах. Вот откуда тянутся нити ломоносовского учения об атомном строении вещества, об основных свойствах мельчайших частиц. Ломоносов считается одним из основоположников атомно-молекулярной теории. Атом или «элемент», как его называл Ломоносов, есть «часть тела, не состоящая из каких-либо других меньших и отличающихся от него тел» [11; 13]. И поэтому, ещё в 1739 г., во время пребывания в Германии он написал две обобщающие работы, где изложил свои материалистические естественнонаучные и философские взгляды на строение вещества, которые чётко просматриваются в написанных уже на родине «Основах металлургии» (см. рис. 2).

Таким образом, Ломоносов интенсивно занимался металлургией на протяжении всей



жизни: и во время обучения в Германии, и после возвращения на родину. Для благосостояния России необходимо было выполнить большой комплекс исследований и обобщений, в которых он стремился обогатить металлургию достижениями в области химии и физики. Но для большего понимания его творчества в металлургии необходимо кратко остановиться на достижениях в этой области, известных до работ Ломоносова.

### **Экспериментальный период развития металлургии до М.В. Ломоносова (горнометаллургический этап развития металлургии)**

Как известно, учёба в Германии (1736-1741), и особенно в известной Фрейбургской горной академии, позволила Ломоносову получить основательные знания в области горных дел и металлургии. Ещё в средние века в Германии горняки и металлурги непрерывно совершенствовали способы добычи и выплавки металлов. Ф. Энгельс писал: «Добыча золота и серебра послужила последним толчком, поставившим Германию в 1470-1530 гг. в экономическом отношении во главе Европы».

Георгий Агрикола (1494-1555) создал свой труд «О металлах». Он обобщил опыт горнометаллургического производства, систематизировал его по процессам. В то время и даже до XX века не было чёткой линии между горным делом и металлургией, и нередко поиском ископаемых, добычей руды и выплавкой металлов занимались одни и те же люди. В те времена в Германии производилось ежегодно около 30 тыс. т железа, во Франции 10 тыс. т, Англии и Швеции по 5 тыс. т.

Трактат Агриколы состоял из 12 томов. Тома с 1-го по 6-й были посвящены горному делу; 7-й том – «пробирному» искусству; 8-й – описанию обогащения и подготовки руд к металлургической обработке; 9-й – выплавке чёрного металла; 10-й – разделению металлов; 11-й – сведениям о металлургическом оборудовании; 12-й – описанию процессов получения соли, соды, селитры, квасцов, купороса, серы, битума и производству стекла. Труд Агриколы был выдержан совершенно в другом духе, чем до этого изданные труды алхимиков, и представлял чётко, строго, подробнейшим образом изложение процессов горного дела и металлургии. Это дало повод Ломоносову написать: «Все почти писатели о рудоплавных делах толь много исполнены излишествованиями, о которых можно думать, что оные внесены для малолетних ребят (Агрикола)» [14]. Однако труд Агриколы служил настольной книгой для горняков и металлургов многих поколений, его прекрасно знал Ломоносов и использовал при написании своей «Металлургии». Так, при измерениях горных работ Ломоносов писал: «В предложении сих правил не поступал я по обыкновению горных землемеров установлениям; потому что их правила весьма долги, и скучных выкладок полны, и логарифмических таблиц требуют, что видно в Фохтовой горной геометрии, которая только в десять полулистов написана. Я последовал в сём больше Георгию Агриколе, которого правила в горной геометрии только десять полулистов заняли» [6]. Однако Ломоносов отдаёт должное Агриколе: «...но как возвратясь в Отечество, при сочинении сей книжицы (что было в 1742 г.) просматривал я разных авторов о разных делах, и при том Георгия Агриколу, вышеупомянутое движение воздуха нашёл явственно описано» [16], или: «Сие вольное движение воздуха уже в давних летах применено искусии металлургом и доктором медицины Георгием Агриколою» [14]. С древнейших времён ковкое губчатое железо получали путём прямого восстановления непосредственно из руды. Технология сыродутного процесса подробно описана в книге Агриколы, что при этом в рабочее пространство горна слоями загружают древесный уголь и измельчённую руду, перед горном стоит плавильщик, или горновой, который управляет плавкой. Через 4-8 часов работы горна рабочие извлекают из него слипшуюся губчатую массу – крицу, которую обрабатывают молотом для удаления части шлака. Затем из горна выбирают шлак, а при интенсификации процесса появляется побочный продукт – чугуны, который научились использовать для получения стали.

Процесс получения железа, чугуна и стали при Ломоносове оставался практически

таким же, как и при Агриколе. Однако было тайной для металлургов отличие чугуна от стали, и её разгадал французский учёный Реомюр (1688-1757). Дж. Бернал [3] писал: «С помощью тщательно поставленных опытов Реомюру удалось раскрыть профессиональную тайну сталеплавильщиков, которую с древних времён строго охраняли, а именно то, что сталь есть чугун, в котором содержится не слишком много и не слишком мало углерода». Результатами исследователя никто не воспользовался, хотя они и были опубликованы. Достижениям Реомюра способствовала его дружба со шведским учёным, членом Петербургской Академии наук Э. Сведенборгом (1772 г.). В 1734 г. в Лейпциге вышла первая книга о железе «De ferro». Это была часть его крупной работы «Opere philosophica et mineralia» («Труды по философии и минералогии»). Сведенборг подробно описывает в книге металлургические процессы и сравнивает между собой технологии, применяемые в разных странах, в том числе и в России. Сведенборг посещал Россию, переписывался с членами Петербургской академии, рассказывал Реомюру о пермских металлургических заводах. Однако нет никаких сведений о научных контактах Ломоносова с Реомюром и Сведенборгом. Реомюр, по существу, создал теорию термической обработки материалов на основе железа, понимая горючую составляющую древесного угля как «искусство умягчения угля и науглероживания».

Во времена Ломоносова в металлургии процесс получения чугуна и железа уже решался применением каменного угля вместо древесного в связи с вырубкой лесов, что особенно затронуло Англию. В 1709 г. в Англии Абрахаму Дерби впервые удалось использовать в доменной печи (при получении чугуна) каменноугольный кокс. Однако для переработки чугуна в сталь по-прежнему был необходим древесный уголь. Ломоносов знал об этих работах, он писал: «Во многих Европейских государствах, а особливо в Англии, употребляют вместо дров за их недостатком горные уголья, добывая оные из недр земных великими трудами». Для России в то время это не было проблемой, и ещё в 1716 г. первый качественный чугун был экспортирован в Англию. В конце XVIII века Россия превратилась в крупнейшего в мире экспортёра чугуна [2].

Вторая глобальная проблема, которая решалась на Западе – получение стали из чугуна («умягчение» чугуна), которая была решена Генри Кортон уже в 1784 г. Изобретённый им способ пудингования означал, по существу, новый этап в металлургии. Таким образом, во времена Ломоносова происходили значительные события в металлургии и, прежде всего, использование в качестве топлива каменного угля и переход на двухступенчатое производство стали. Кроме того, Реомюром и Сведенборгом были предприняты первые шаги по созданию металлографии и металловедения железоуглеродистых материалов. Можно полагать, что Ломоносов знал о происходящих изменениях металлургии в европейских странах, однако его интересовали более обширные комплексные проблемы, относящиеся к России – поиск полезных ископаемых, горные работы, металлургия и не только железа, но и других известных металлов. Он, по существу, в одиночестве пытался решить эту проблему с использованием фундаментальных наук: математики, физики и химии.

Таким образом, до Ломоносова развитие металлургии происходило с использованием эмпирического подхода, который имеет свои естественные пределы. Для дальнейшего развития металлургии необходимо было использование достижений фундаментальной науки, и первые шаги в этом направлении сделал М.В. Ломоносов.

### **Металлургия М.В. Ломоносова, её развитие и связь с физикохимией**

Будучи страстным патриотом России, Ломоносов решал проблемы металлургии в соответствии с комплексными задачами, стоящими перед ней. Эти задачи сводились к поиску полезных ископаемых, образованию горных предприятий, обогащению руд, металлургии. Таким образом, Ломоносов комплексно решал вопросы геологии, горного дела, минералогии, металлургии. При этом он стремился рассмотреть эти этапы с позиций физики, химии, математики и физической географии (см. рис. 1). В каждом из упомянутых вопросов Ломоносов сделал ряд замечательных исследований и обобщений.

*Геология.* Ломоносов придавал большое значение поиску полезных ископаемых. Уже в



«Первых основаниях металлургии» [14] он писал: «Рудоискатели, прежде нежели руды жил искать начинают, смотрят и рассуждают наперёд положения и состояние сего места: 1) можно ли надеяться, что в нём постоянные и к добыче довольно руды содержится; 2) Есть ли тут же довольство материй и способов, которые к учреждению рудников, и не выплавкам металлов необходимо надобны». Сразу по прибытии в Петербург в 1741 г. Ломоносов приступил к составлению каталога собрания минералов и окаменелостей Минералогического кабинета Кунсткамеры, чем внёс вклад в появление новой научной минералогии. В работе «О слоях земных» он пишет: «Велико есть дело – достигнуть во глубину Земную разумом, куда руками и оку досягнуть не позволяет натура: странствовать размышлениями в преисподней, проникать рассуждением сквозь тесные расселины и вечною ночью помрачённые вещи и деяния выводить на солнце».

*Химия.* Ломоносов первый из русских академиков написал учебники по химии и металлургии: «Курс физической химии» (1754 г.) и «Первые основания металлургии, или рудных дел» (1763 г.). Ему принадлежит заслуга в создании Химической лаборатории Петербургской академии наук (1748 г.) и Московского университета (1755 г.).

*Экология.* Ломоносов впервые в России обратился к проблеме безопасной работы на горных предприятиях. Работа «О вольном движении воздуха в рудниках» из «Первого тома новых комментариев» представляла комплекс определений, примечаний, присовокуплений, положений и доказательств, снабжённых рисунками. В ней показано решение вопросов, решаемых ныне экологами: что должен обеспечить «воздух в рудниках во всякое время целого года сохраняет равное растворение, где рудокопы ни от летних жаров, ни от зимних морозов не претерпевают никакого беспокойства». Ломоносов использовал «Гидростатические» основания, а также указал на необходимость применения знаний математики. Следует отметить, что во времена Ломоносова вопросы экологии (тогда такой науки не существовало) практически в литературе не рассматривались. Пройдёт ещё около 200 лет, пока «современный Ломоносов» – В.И. Вернадский – покажет первостепенное значение этой проблемы. Сегодня мы осознали, что живём на большом космическом «корабле», однако инструкции по его эксплуатации не имеем. Такие инструкции должны, прежде всего, выработать экологи, и в нашей стране первые шаги в этом направлении были сделаны М.В. Ломоносовым.

*Физикохимия.* Разработанная Ломоносовым физикохимия является сегодня основой металлургической науки. Можно предположить, что после написания «Первых оснований металлургии» в 1749 г. Ломоносов понимал, что для дальнейшего развития металлургии необходимо использовать достижения главным образом химии, физики. Дальнейшие его работы (см. рис. 2) так или иначе касались металлургии. В работе «О пользе химии» [13] Ломоносов всё время возвращался к проблеме металлов, такой подход касался и других его работ. Выполняя большой цикл работ по химии, физике, Ломоносов как бы подготавливал материал для последней своей книги. Он писал: «Изучение химии может иметь двоякую цель: первая – усовершенствование естественных наук и вторая – умножение Благ жизни. Последняя цель достигла хороших успехов; первая же почти не привела к обогащению философского познания природы» [12]. По мнению Ломоносова, настоящие лабораторные исследования должны сводиться: 1) к тщательно проводимому разложению химических веществ на составляющие его простые химические вещества; 2) к соединению простых веществ для образования сложных веществ. В исследованиях явлений природы Ломоносов считал необходимым использовать знания законов физики. Он обвинял химиков в односторонности, которые не использовали в своей работе физику, что «надо призвать из физики в химию, что можно в ней присоединить, чтобы обе науки получали большее развитие и каждой пролился бы яркий свет» [13]. Ломоносов в [9] пишет: «Моя химия – физическая». Ломоносов по праву является отцом физической химии, которая являлась научной базой для его гениальных обобщений, в том числе открытый им закон постоянства и движения, а также развития металлургии. «Физическая химия, – писал он, – есть наука, объясняющая на основании положений и опытов то, что происходит в смешанных телах при помощи

химических реакций. Она может быть названа химической философией». Ломоносов доказывал единство физических и химических тел, а также единство всех тел в природе. Исследуя сложные тела, он разделял их на две категории – органические и неорганические, единство которых по Ломоносову заключается в том, что они состоят из одних и тех же химических составных частей.

*Научная металлургия.* Ломоносов был основателем металлургической науки [19]. При этом он поставил стратегические задачи как для металлургии, так и для материаловедения (материалогии). Говоря о необходимости «новых действий к материи, которые могут часто пользоваться в познании натуры и приращении художеств», он имел в виду создание новых материалов с использованием различных технологий [16]. К гениальным достижениям Ломоносова относится открытие и естественнонаучное обоснование закона сохранения вещества и движения, ставшего краеугольным камнем материалистического истолкования природы, в том числе химии и металлургии. Руководствуясь законом сохранения вещества и движения и другими законами естествознания и материалистической философии, разработав механическую теорию теплоты, Ломоносов заложил основы атомно-молекулярной теории, разработал новую теорию о природе электрических явлений и т.д. Всё это стало основой его физикохимии, а, следовательно, металлургической науки. Он писал: «...приняв в помощь высокие науки, а особливо механику твёрдых и жидких тел (так и хочется сказать физику и химию конденсированного состояния), к измерению сил действующих натуры, металлургическую химию — к разделению смешения минералов, слои составляющих, и общегеометрию, правительницу всех мысленных изысканий» [14]. Таким образом, роль и значение работы Ломоносова [14] состоит в том, что металлургия превратилась из «художества» в научную дисциплину, базой которой являлась впервые им разработанная физикохимия (см. рис. 3).



Рис. 3. Схема формирования металлургии как науки

Ныне «Металлургия» не только как наука, но и как учебная дисциплина нашла своё место во многих учебных планах высших учебных заведений и не только России, но и развитых стран мира и является одной из важнейших в деле подготовки специалистов по металлургии и другим инженерным специальностям.

На первом этапе на дальнейшее развитие научной металлургии оказали значительное влияние преимущественно *химики*: А. Авогадро, С.А. Аррениус, И.Я. Берцелиус, Гей-Люссак, Д.У. Гиббс, В.Н. Гольдшмидт, Д.И. Менделеев, Д. Дальтон, В.И. Вернадский, Ле Шателье, А. Муассан, Н.С. Курнаков, Г.В. Самсонов и другие. Не зря в своих работах Ломоносов использовал термин «металлургическая химия» [16]. Значительное влияние на развитие научной металлургии оказали и *физики* XX века: М. Лауэ, В.К. Рентген, У.Г. Брэгг, В. Коссель, Г. Льюис, Э. Резерфорд, Де Бройль, М. Планк, В. Гейзенберг, Э. Шрёдингер, Е. Орован, П.А. Ребиндер, П. Дебай и др.

Однако *экспериментальная, практическая металлургия*, впитывая достижения физикохимии, продолжала и продолжает своё развитие трудами таких замечательных учёных и практиков, как П.Г. Соболевский, П.П. Аносов, Д.К. Чернов, А. Совье, И.И. Сидорин, Г. Бессемер, П. Мартен, С. Томас, А.А. Бочвар, Г.В. Курдюмов, А.П. Гуляев и др.

Следует отметить, что Ломоносов особое внимание придавал использованию достижений философии для развития физикохимии. Он хорошо знал и использовал работы Аристотеля, Лукреция, Лейбница. При этом он утверждал, что «истинный химик должен быть также и философом» [16].

### «Дуга Ломоносова» в круговороте вещества и материалов – основа минералогической материаловедения

Сегодня не вызывает сомнения, что глобальные проблемы человечества, тесно связанные с небывалыми достижениями научно-технического прогресса, могут привести к катастрофе и гибели человечества в случае пренебрежительного невнимания к их решению. В их решении главнейшая роль принадлежит науке, и в связи с этим назрела необходимость изменения вектора её развития, который должен быть направлен, прежде всего, на благо человеческого общества [6]. Следует отметить, что много лет назад М.В. Ломоносов говорил о необходимости развития науки для пользы человека, прозорливо предугадывая новый вектор её развития. Так, в «Слове о пользе химии» он писал: «Рассуждая о благополучии жителя человеческого, слушатели, не нахожу того совершеннее, как ежели кто приятными и безпорочными трудами пользу приносит. Ничто на Земле смертному выше и благоразумнее дано быть не может ...такое приятное, безпорочное и полезное упражнение где способное, как в учении, сыскать можно?» [16].

Сегодня новый вектор развития науки должен повлиять и на развитие отдельных наук, и, в частности, на науку о материалах, что уже нашло отражение в новых учебниках по материалам, например, в [20-22], где решению ряда глобальных проблем человечества уделяется значительное внимание. В литературе нет однозначной их классификации, количество этих проблем в разных работах колеблется от 1 до 40. Однако в большинстве публикаций систематически повторяются отдельные их виды – экология и проблемы ресурсосбережения (катастрофическое уменьшение запасов невозобновляемых ресурсов), которые тесно связаны с проблемами получения материалов. В работе [8] утверждается, что именно отрасли промышленности, производящие материалы, являющиеся основой развития цивилизации, наряду с классической энергетикой и транспортом XX в. заложили основу экологических кризисов и конечной гибели всего живого на Земле, если человечество будет следовать и далее этой пагубной парадигме. Пагубная парадигма – примат научно-технического прогресса в развитии человечества.

В связи с этим для решения проблемы промышленности, производящей материалы, российским учёным В.А. Резниченко [17] сформулирована триединая задача: перманентное обеспечение сырья, перманентное обеспечение материалами и обеспечение экологической безопасности. Мы полагаем, что эти задачи требуют уточнения, что отражено в рис. 4.



Рис. 4. Триединая задача

Для решения триединой задачи требуется общая методологическая установка, которая заключается в системном и комплексном рассмотрении глобальных проблем человечества, относящихся к проблеме материала. Такой методологической основой является исследование и изучение круговорота вещества и материалов во второй природе, которая представлена в работах [7; 20 – 22].

Началом и важнейшим сегментом этой работы является комплекс геологических, горных, металлургических работ, обозначенных в трудах М.В. Ломоносова (см. рис. 5), исследований, обеспечивающих переход от сырья к материалу и далее рассмотрению экологических вопросов.



Рис. 5. «Дуга Ломоносова» в круговороте вещества и материалов в соответствии с современными представлениями

Следует отметить, что исследования М.В. Ломоносова были направлены именно на комплексное и системное рассмотрение вопросов геологии, горного дела и металлургии, а также, в ряде случаев, и экологии. И лишь через три столетия вопрос комплексной переработки отходов и получения из них сырья и материалов в развитие идеи циклического круговорота вещества и материалов во «второй» природе стал приобретать особую актуальность. В связи с этим сектор циклического круговорота вещества и материалов во «второй» природе, отвечающий этим вопросам, мы назвали «дугой Ломоносова».

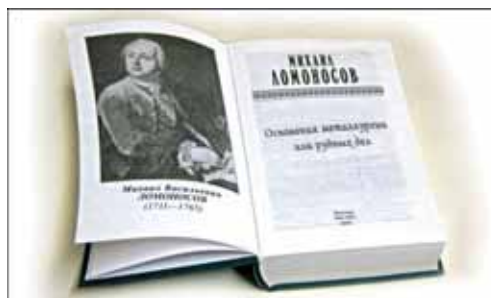
В настоящее время не имеется отрасли науки, изучающей системно и комплексно триединую задачу на данном секторе. В то время как на «дуге Ломоносова» при современном развитии техники возможно получение материалов в регионах его добычи, что значительно расширяет возможности горнодобывающих регионов.

Однако современное материаловедение не рассматривает эти вопросы, хотя в иностранных учебниках уже их рассматривают в пределах нового «интеграционного материаловедения». Мы предлагаем новую науку о материалах – материалогии, разделом которой должно быть изучение движения минерального сырья к материалам с рассмотрением вопросов экологии. Этот раздел материалогии мы назвали минералогической материалогией, он рассматривает системно получение материалов на «дуге Ломоносова» в условиях устойчивого развития человеческого общества.

Пока же в высшей школе России не изучаются новые направления развития науки о материалах, и это грозит катастрофическим отставанием в изучении наук о материалах от уровня подготовки специалистов, связанных не только с проблемой получения материалов, но и экологическими проблемами. «Дуга Ломоносова» должна быть освоена отечественным образованием и наукой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин, Р. К. 100 Великих гениев / Р. К. Баландин. Электронная библиотека. [www.gumer.info](http://www.gumer.info).
2. Беккерт, М. Железо. Факты и легенды / М. Беккерт; пер. с нем. – М.: Металлургия, 1984. – 232 с.
3. Бернал, Дж. Наука в истории общества / Дж. Бернал. – М.: Наука, 1956. – 735 с.
4. Симаков, В. И. Михаил Васильевич Ломоносов. Феноменология интеллекта / В. И. Симаков. – Хаба-ровск: Изд-во “РИОТИП”, 2007. – 608 с.
5. Меншуткин, В. Н. Замечания по поводу работ М.В. Ломоносова по физике и химии. Классики естествознания. Книга восьмая / В. Н. Меншуткин. – М.-Петербург: СГР, 1923. – 127 с.
6. Верхотуров, А. Д. О новом определении науки в связи с необходимостью решения глобальных проблем человечества / А.Д. Верхотуров, Б.А. Воронов, Л.А. Коневцов / Современное материаловедение и нанотехнологии: сб. материалов междунар. симп. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010. – С. 30-38.
7. Верхотуров, А. Д. Международная конференция “Неделя материалов”/ Верхотуров А.Д., Сокол И.В. // Вестник ДВО РАН. – 1995. – №1. – С. 110-111.
8. Вишняков, Я. Д. Материаловедение и теория технологии материалов в контексте наук о рисках безопасности. Экономические и экологические проблемы / А. Д. Верхотуров, И. В. Сокол // Материаловедение. – 1998. – № 4, 5. – С. 36-56.
9. Ломоносов, М. В. Первые основания металлургии // Полное собрание сочинений Михаила Васильевича Ломоносова. Ч. 3, гл. 4. – Санкт-Петербург: Императорская Академия наук, 1803. – С.77.
10. Лукреций, Т. К. О природе вещей / Тит Кар Лукреций. – М.: Худлит., 1983. – 383 с.
11. Ломоносов, М. В. Избранные философские произведения / М. В. Ломоносов; под общ. ред. и с предисл. Г. С. Васецкого. – М.: Госполитиздат, 1950. – 758 с.
12. Ломоносов, М. В.. Избранные философские произведения / М. В. Ломоносов. – М.: Госполитиздат, 1950. – 59 с.
13. Ломоносов, М. В. О пользе химии / М. В. Ломоносов // Полное собрание сочинений Михаила Васильевича Ломоносова. Ч. 3. – Санкт-Петербург: Императорская Академия Наук, 1803. – 30 с.
14. Ломоносов, М. В. Первые основания металлургии, и рудных дел / М. В. Ломоносов. – Санкт-Петербург: Императорская Академия наук, 1763. – 85 с.
15. Капица, П. Л. Ломоносов и мировая наука / П. Л. Капица // Успехи физических наук. – Т. 88. Вып 1. – 1965. – С. 155-168.
16. Полное собрание сочинений Михаила Васильевича Ломоносова. Ч. 4-6. – Санкт-Петербург: Императорская Академия наук, 1803. – 302 с.
17. Резниченко, В. А. Материалы и сохранение окружающей среды – новая модель развития производства / В. А. Резниченко // Материаловедение. – 1997. – № 4. – С. 40-44.
18. Вавилов, С. И. Михаил Васильевич Ломоносов / С. И. Вавилов. – М.: Изд-во Академии наук, 1961. – С. 33-39.
19. Самсонов, Г. В. М.В. Ломоносов и металлургическая наука / Г. В. Самсонов // Порошковая металлургия. – 1961. – № 6. – С. 5-9.
20. Hornbogen E., Eggeler G., Werner E.. Werkstoffe. Springer-verlag Berlin Heidelberg. 2008. – 594 p.
21. Hornbogen E. Werkstoffe. Springer-verlag Berlin Heidelberg, Printeg Germany. 2006. – 460p.
22. Werner E., Hornbogen E., N. Jost, Eggeler G. Fragen und Antworten zu Werkstoffe. Springer Heidelberg Dordrecht London New – York, 2010. – 425 p.



**Дмитриев Э. А., Соболев Б. М., Рыбалкин А. А.**  
ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ЧУГУНА С ШАРОВИДНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА (ОБЗОР)

**Дмитриев Э. А., Соболев Б. М., Рыбалкин А. А.**  
**E.A.Dmitriyev, B.M.Sobolev, A.A.Rybalkin**

**ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ЧУГУНА С ШАРОВИДНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА  
(ОБЗОР)**

**PESSURE TREATMENT OF CAST IRON WITH SPHEROIDAL GRAPHITE (review)**

**Дмитриев Эдуард Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, проректор по инновационной работе Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(4217) 24-11-07. E-mail: Innov@knastu.ru

**Mr. Eduard A. Dmitriyev** – Doctor of Engineering, Professor, Provost for Innovation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), tel.: + (74217) 24-11-07. E-mail: Innov@knastu.ru

**Соболев Борис Михайлович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtlp@knastu.ru

**Mr. Boris M. Sobolev** – PhD in Engineering, Professor of the Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmtlp@knastu.ru

**Рыбалкин Антон Андреевич** – аспирант кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mmc727@rambler.ru

**Mr. Anton A. Rybalkin** – PhD Candidate, Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mmc727@rambler.ru

**Аннотация.** Проведен обзор литературы, касающейся обработки давлением чугуна с шаровидной формой графита. Обозначены проблемы в изготовлении деталей из высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита (ВЧШГ) методом обработки металлов давлением (ОМД).

**Summary.** A review is offered of specialist literature concerning pressure treatment of ferritic nodular cast iron. Problems linked to pressure treatment of high-strength cast iron with spheroidal graphite are identified.

**Ключевые слова:** чугун с шаровидным графитом, металлическая структура, термообработка, деформация.

**Key words:** cast iron with spheroidal graphite, metal structure, thermal treatment, deformation.

УДК 621.74:669.131

В начале 80-х годов в мире производилось более 8 млн т. отливок из высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита (ВЧШГ). По прогнозам специалистов в ближайшей перспективе производство ВЧШГ превысит 20 млн т и составит по массе более 25 % всех отливок, получаемых в мире [1].

В нашей стране крупнейшими производителями изделий из ВЧШГ являются автомобильные заводы.

ВЧШГ является уникальным конструкционным материалом, с которым по разнообразию его технического применения сейчас не может сравниться ни один металлический сплав. ВЧШГ обладает комплексом ценных физико-химических свойств, которые в сочетании с его

высокими прочностными характеристиками (от 400 до 1600 МПа) и, особенно, повышенной пластичностью до 25 % делают незаменимым его применение для производства изделий самого ответственного назначения [2]. Высокие механические свойства ВЧШГ при повышенных температурах, а также устойчивость к окислению позволяют использовать его для изготовления конструкционных элементов сушильных печей, деталей газовых и паровых турбин, корпусов насосов различного назначения и компрессоров. Другое отличительное свойство этих чугунов – высокое сопротивление усталости, что обуславливает его эффективное применение для коленвалов и других аналогичных деталей [1].

В чугунах форма графита оказывает определяющее влияние на прочностные характеристики материала. В ВЧШГ (рисунок 1) графитные включения имеют шаровидную форму, вследствие чего он по механическим свойствам превосходит серый и успешно конкурирует со сталью.

ВЧШГ отличается от стали хорошими литейными свойствами, такими, как высокая жидкотекучесть, малая склонность к образованию трещин, меньшая усадка и т.д., относительно простым процессом плавки и более низкой стоимостью. В связи с этим часто сталь заменяют ВЧШГ, что позволяет снизить себестоимость изделий без ухудшения качества.

Однако требования к конструкционным материалам непрерывно возрастают по мере увеличения нагрузок на детали в машинах и узлах. Кроме статической прочности, пластичности и твердости, для конструирования отдельного узла или детали все большее значение приобретают такие свойства, как сопротивление усталости при динамических и знакопеременных нагрузках и износостойкость. В некоторых случаях именно эти параметры и определяют выбор материала [1].

Значительно повысить свойства ВЧШГ возможно за счет устранения дефектов, присущих литому металлу, путем его обработки давлением.

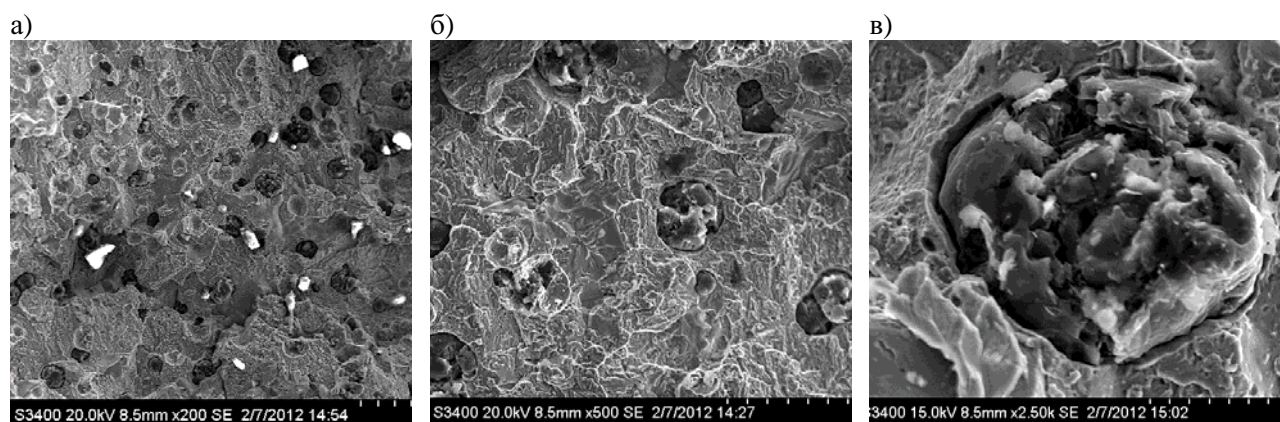


Рис. 1. Шаровидная форма графита, снимки получены на растровом электронном микроскопе HITACHI S3400N:

а – увеличение  $\times 200$ ; б – увеличение  $\times 500$ ; в – увеличение  $\times 2500$

Возможность обработки давлением ВЧШГ впервые была исследована теоретически, начиная с 1931 г., а в 1983 г. были проведены экспериментальные исследования деформирования ВЧШГ на молоте, которые дали положительный результат [3].

В результате проведенных экспериментальных исследований был установлен нужный состав чугуна с шаровидным графитом, имеющий максимальные пластические свойства, необходимую температуру нагрева заготовок 600 – 650 °С, а также установлено, что качество получаемой поковки зависит от скорости приложения нагрузки (силы удара). После пластической деформации предел прочности чугуна увеличился на 12 – 40 %, относительное удлинение уменьшилось на 1,5 – 2,0 %. Твердость возросла на HB 55-142 [3].

Примерно через 20 лет вновь активизировались исследования в области обработки давлением ВЧШГ. Внимание уделялось поведению включений шаровидного графита (ШГ) при деформации. Многие свойства чугуна определяются именно формой графита. Известно, что деформация металлической основы (МО) вызывает деформацию включений ШГ – графитные включения становятся дискообразными. Перестройка ШГ весьма существенно влияет на тепло- и электропроводность чугуна. В результате было установлено, что деформирование ВЧШГ способно существенно повысить его теплопроводность и незначительно снизить электропроводность [4].

В процессе исследований изучалось влияние термообработки на деформируемость ВЧШГ. Благодаря ковке, прокатке, прессованию, в чугунах формируют однонаправленную структуру вытянутых графитных частиц (рисунок 2), что обеспечивает изготовленным из них изделиям повышенные прочность и плотность, сопротивление коррозии и износу. При выборе технологии деформирования чугуна, как правило, предусматривают предварительную термообработку (ТО), цель которой – повышение деформируемости. Для этого применяют субкритический отжиг, термоциклическую обработку или медленное охлаждение в интервале температур эвтектоидного превращения [5].

Следует отметить, что, несмотря на большое значение, влияние исходного состояния чугуна на его деформируемость изучено недостаточно. Это затрудняет выбор рациональных параметров технологии получения деформированного чугуна.

Установлено, что пластическая деформация многофазного материала может обеспечить спланированное изменение формы и распределения фаз, а последующая термообработка влияет на состав и микроструктуру. Термическая обработка литого чугуна определяет количество связанного углерода, а в результате – прочность, твёрдость, пластичность и вязкость чугуна. На свойства деформированного чугуна оказывает влияние графит шаровидной формы, который вытягивается вдоль деформации растяжения; в результате свойства в поперечном направлении ниже, чем в продольном, но выше, чем у литого металла.

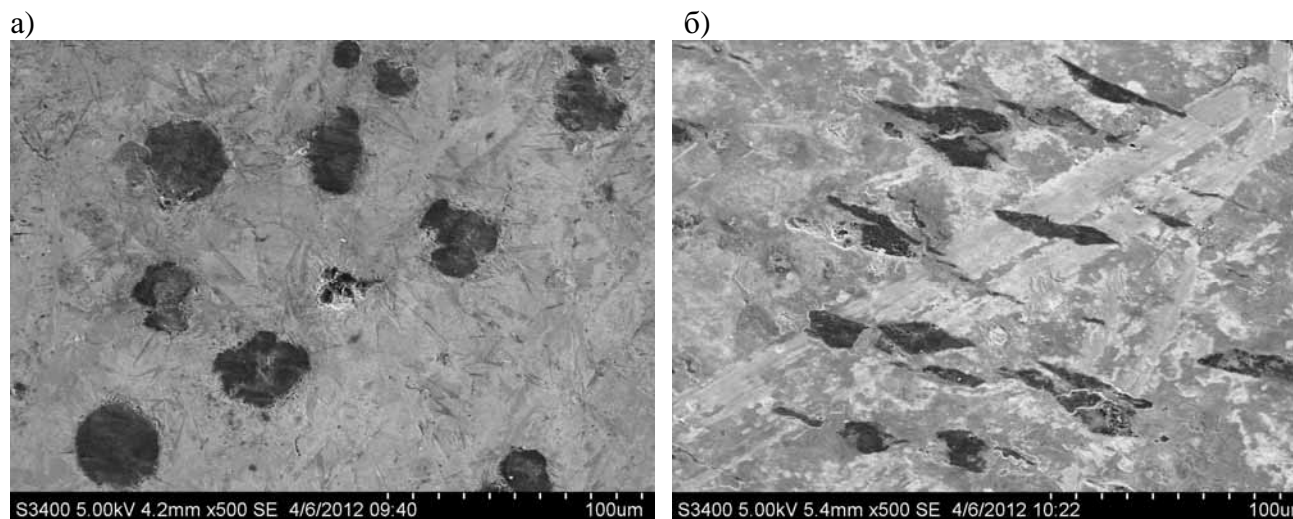


Рис. 2. Изменение формы шаровидного графита при деформации:  
а – до деформации; б – после деформации

Эти исследования показали, что чугун с шаровидным графитом и исходной ферритной структурой матрицы обладает хорошей пластичностью и может подвергаться свободной ковке при степени одноразовой деформации до 25 – 30 % при температурах 850 – 1050 °С. Однако при охлаждении деформированного образца на воздухе на поверхности могут образовываться трещины и надрывы. Для предотвращения возможности их появления необходимо замедленное охлаждение после горячей деформации [6].



Несмотря на то, что к настоящему времени накоплен достаточный опыт изготовления изделий методом обработки давлением, вопросы получения таких чугунов еще до конца не изучены и полностью не раскрыты потенциальные возможности этого материала.

Полученные результаты не охватывают целый ряд проблем, которые присущи процессам деформации ВЧШГ. Подробно не изучены влияние степени горячей пластической деформации на структуру и свойства чугуна, не установлены критериальные зависимости между составляющими структуры и свойствами в виде диаграмм, необходимых для практического пользования при назначении режимов деформации высокопрочного чугуна.

Детально не установлены требования, предъявляемые к структуре, химическому составу и поверхности литой заготовки из ВЧШГ, необходимые для дальнейшей обработки давлением. Необходимо разработать методику прогнозирования механических свойств в зависимости от режимов горячей обработки давлением, позволяющую оценить их уровень в связи с изменением структуры чугуна. Необходимо создать деформационные технологические схемы получения изделий различного назначения с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами из высокопрочного чугуна, включающие в себя нагрев заготовок, процесс обработки давлением и термообработку изделий. Данные схемы обеспечивают производство изделий различного назначения повышенного качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корниенко, Э. Н. Разработка и применение специальных высокопрочных чугунов / Э. Н. Корниенко // *Металлургия машиностроения*. – 2001. – № 1. – С. 18-26.
2. Александров, Н. Н. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – перспективный конструкционный материал XXI века / Н. Н. Александров // *Материалы в арматуростроении*. – 2008. – № 2. – С. 72-74.
3. Козлов, Л. Н. Деформирование чугуна с шаровидным графитом / Л. Н. Козлов, Н. Г. Власов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1983. – № 2. – С. 12-13.
4. Худокормов, Д. А. Влияние горячей деформации на тепло- и электропроводность чугуна с шаровидным графитом / Д. А. Худокормов // *Металлургия машиностроения*. – 2002. – № 4. – С. 26-27.
5. Баранов, Д. А. Влияние термообработки на деформируемость высокопрочного чугуна / Д. А. Баранов // *Металлургия машиностроения*. – 2003. – № 4. – С. 32-36.
6. Дубинский, В. Н. Горячая деформация чугуна с шаровидным графитом / В. Н. Дубинский, И. О. Леушин // *Черные металлы*. – 2007. – № 4. – С. 17-19.

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**  
**EARTH SCIENCES AND LIFE SAFETY**

**Коротеева Л. И., Редикульцева О. Л.**  
**L.I.Koroteeva, O.L.Redikultseva**

**ГИС «КАДАСТР ИСТОРИКО-ЭТНИЧЕСКИХ И ТУРИСТСКИХ РЕСУРСОВ  
КОМСОМОЛЬСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА»**

**GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM “KOMSOMOLSK MUNICIPAL DISTRICT’S  
CADASTRE OF HISTORICAL, ETHNIC AND TOURIST RESOURCES”**



**Коротеева Любовь Ивановна** – кандидат технических наук, доцент кафедры управления недвижимостью и кадастров Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681017, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Аллея труда, 59-228; 8(4217)57-235-58.

**Ms. Lubov I. Koroteeva** – PhD in Engineering, Associate Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Department of Property Management and Cadastre (Russia, Komsomolsk-on-Amur). 681017, 59-228, Truda avenue, tel.: 8(4217)57-23-58.



**Редикульцева Ольга Леонидовна** – студентка факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681008, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Щорса, 91-44; 8(4217)55-64-78.

**Ms. Olga L. Redikultseva** – student of Property Management and Cadastre, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Department of Property Management and Cadastre (Russia, Komsomolsk-on-Amur). 681008, 91-44, Shchors Str., tel.: 8(4217)55-64-78.

**Аннотация.** Статья посвящена созданию географической информационной системы для ведения кадастра историко-этнических и туристских ресурсов. В ней рассматривается место данного кадастра в территориальной информационной системе Комсомольского муниципального района и его роль в процессе принятия управленческих решений по вопросам охраны и мониторинга исторических памятников, а также обеспечения экологической безопасности и развития туризма.

**Summary.** The paper highlights the idea of developing a geographical informational system for creating and keeping a cadastre of historical, ethnic and tourist resources of the region. The paper considers the place of the cadastre in the Komsomolsk District’s territorial informational system and its role in the process of decision-making concerning the protection and supervision of historical monuments, environmental protection and development of tourism.

**Ключевые слова:** кадастр, мониторинг, геоинформационные технологии, топология, историко-этнические и туристические ресурсы, база данных, объект.

**Key words:** cadastre, supervision, geographical informational technologies, topology, historical ethnic and tourist resources, data base, object

УДК 349.417/. 418 (07)

Кадастрами историко-этнических и туристских ресурсов называют свод экономических, экологических, организационных и технических показателей, которые характеризуют количество и качество данных ресурсов, состав и категории землепользователей.

Данные кадастры являются основой рационального использования памятников истории и этнографии в Комсомольском муниципальном районе, а также базой для качественной

и экономической оценки историко-этнических территорий и разработки мероприятий по восстановлению, охране и мониторингу подобных объектов [1; 7].

Система кадастра историко-этнических и туристских ресурсов предназначена для обеспечения органов исполнительной власти и местного самоуправления достоверной и актуальной информацией о состоянии данных объектов [4; 6]. Исходя из этого, предполагается, что кадастр историко-этнических и туристских ресурсов должен быть частью территориальной информационной системы Комсомольского муниципального района. Это позволит использовать его для обеспечения процесса принятия управленческих решений по вопросам охраны, мониторинга исторических памятников и одновременного обеспечения экологической безопасности [2; 8; 9]. На схеме «ГИС – генеральный план развития Комсомольского муниципального района» определяется место предлагаемой к разработке системы (рис. 1).

Данный кадастр целесообразно создавать на основе современных информационных технологий - географических информационных систем (ГИС). Идея ГИС – хранение информации о реальном мире в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения.

ГИС «Кадастр историко-этнических и туристских ресурсов Комсомольского муниципального района» основана на технологии ArcGIS9, которая обеспечивает топологическую корректность хранения пространственных данных в базе геоданных, так как предусматривает устранение ошибок и неточностей при создании схем территориального планирования, историко-этнического каркаса, транспортного развития и т.д. В среде проекта геоинформационной системы используются два настольных приложения: Arc Catalog и Arc Map.

Arc Catalog управляет хранением пространственных данных, структурой баз данных, записью и просмотром метаданных. Первым этапом работы с Arc Catalog явилось создание картографической основы проекта. За основу была взята карта Комсомольского района с обозначением границ особо охраняемых территорий.

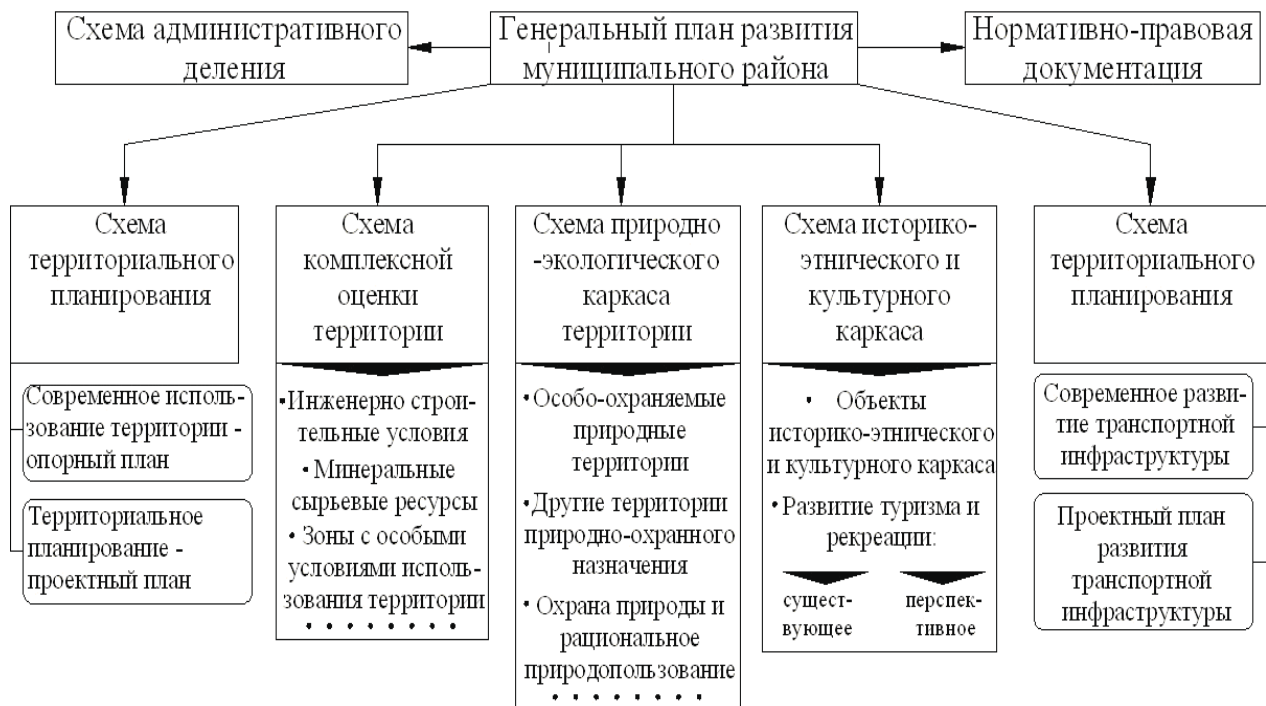


Рис. 1. ГИС – генеральный план развития Комсомольского муниципального района

Arc Map – это инструмент работы с системой ArcGIS [3; 5]. Он позволяет создавать, просматривать, запрашивать, редактировать, компоновать и издавать карты.

Основой системы является разработанная структура базы данных, в которую должны загружаться пространственная и атрибутивная информация по историко-этническим и туристическим ресурсам Комсомольского муниципального района.

В процессе создания картографической основы ГИС «Кадастр историко-этнических и туристических ресурсов Комсомольского муниципального района» выполнены следующие *основные* слои:

- граница района – информация о границах Комсомольского муниципального района;
- муниципальные образования – информация о границах населенных пунктов на территории Комсомольского муниципального района;
- реки – изображение не крупных водных объектов;
- водное пространство – информация о крупных водных объектах района (р. Амур, оз. Хумми);
- дорожно-транспортная сеть – изображение основных транспортных путей сообщения в районе;
- водоохранная зона – информация о санитарно-защитных зонах основных водных объектов.

Для историко-этнических и туристических объектов, особо охраняемых природных территорий созданы *специальные* слои: природные памятники, особо охраняемые природные территории (ООПТ); зоны рекреации; археологические памятники; туристическая инфраструктура; объекты культуры; национальные селения.

Атрибутивная информация (базы данных) в программном комплексе ArcGIS содержится в виде таблиц, которые соответствуют определенному слою геоданных. Так, например, таблица атрибутов слоя «археологические памятники» состоит из следующих столбцов: имя, дата, тип, кем изучен (открыт). Информация, отображенная в таблице атрибутов, может быть использована для надписи объектов на карте, отображения подсказок, изменения условных обозначений объектов, построения диаграмм, получения статистических данных.

Важнейшей частью создания кадастра историко-этнических и туристических ресурсов Комсомольского района Хабаровского края является создание ГИС туристических ресурсов (см. прим. 1; 2).

В данной информационной системе пользовательская информация привязывается к географическим объектам трех типов:

- 1) точечные объекты, которые необходимы для геокодирования баз данных (БД), содержащих адресные атрибуты (например, адрес туристических предприятий и организаций);
- 2) линейные объекты, которые служат основой для хранения характеристик объектов придорожного сервиса, туристических маршрутов, осевых линий путей сообщения;
- 3) площадные объекты, указывающие местоположение и границы различных ареалов (зоны отдыха, зоны расположения памятников, границы муниципальных районов).

При разработке тематических слоев историко-культурного наследия и развития туризма в Комсомольском муниципальном районе использованы следующие способы картографического изображения и системы условных обозначений.

1. Значковым способом изображены гостиницы, объекты придорожного сервиса, населенные пункты с указанием типа туризма, дома отдыха, санатории, археологические и исторические памятники, музеи, водные пристани, охотничьи базы, народные промыслы и природные памятники. Для отображения качественных и количественных значений использованы различные цветовые схемы и оттенки, штриховка, контура, дифференцированы типы значков: геометрические, буквенные, наглядные (табл. 1).

2. С помощью линейных знаков показаны основные туристические маршруты по видам туризма в Комсомольском муниципальном районе, реки, пути сообщения (автодороги, железные дороги).

3. Способом ареалов отображены наиболее интересные исторические и туристические районы, зоны, особо охраняемые природные территории и т.п.

Таблица 1

Варианты обозначения объектов на карте

Объект	Обозначение		Объект	Обозначение	
	Значковое	Буквенное		Значковое	Буквенное
Автозаправочная станция			Музей		
Кафе/столовая			Горно-лыжный курорт/база		
Гостиница			База отдыха		

Итогом разработки становится обновляемая и расширяемая как функционально, так и территориально географическая информационная система «Кадастр историко-этнических и туристских ресурсов Комсомольского муниципального района», которая открывает большие возможности для учета, оценки и управления в данных предметных областях. Удобный пользовательский интерфейс позволяет работать с системой, как профессионалам, так и начинающим пользователям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов, В. А. Особо охраняемые территории Хабаровского края / В. А. Андронов, Д. М. Гранкин, А. Я. Иволгин. – Хабаровск, 2009. – 90 с.
2. Медведева, О. Е. Включение экологического каркаса в процесс правового и территориального зонирования земель различных категорий. Правовое регулирование / О. Е. Медведева. – М.: Недвижимость и инвестиции, 2001 – 237 с.
3. Arc<sup>®</sup>GIS. Начало работы с ArcGIS / пер. с англ. ДАТА+. – М.: ДАТА+, 2009. – 264 с.
4. Тикунов, В. С. Устойчивое развитие территорий: Картографо-геоинформационное обеспечение / В. С. Тикунов, Д. А. Цапук. – Москва-Смоленск: СГУ, 1999. – 176 с.
5. Красовская, О. В. ГИС в системе территориального планирования и управления территорией / О.В. Красовская [и др.] // ArcReview – современные геоинформационные технологии. – 2006 – № 3 (38). – С. 15-17.
6. Скатерщиков, С. В. Пространственное планирование, как основа устойчивого развития / С.В. Скатерщиков // ArcReview – современные геоинформационные технологии. – 2005. – №2 (33). – С. 12-14.
7. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: фед. закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 26. – Ст. 2519.
8. Об особо охраняемых природных территориях Российской Федерации: указ Президента РФ от 2 октября 1992 № 1155 // Собрание актов Президента и Правительства РФ. – 1992. – № 14. – Ст. 1096.
9. О порядке ведения государственного кадастра особо охраняемых природных территорий: постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.1996 № 1249 // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 44. – Ст. 5014.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

1. Комсомольский муниципальный район Хабаровского края. Официальный сайт администрации [электронный ресурс], – Электрон. текстовые и графические данные, – Загл. с экрана. : <http://www.raion.kms.ru> // режим доступа свободный
2. Хабаровский край. Официальный информационный портал [электронный ресурс], – Электрон. текстовые и графические данные, – Загл. с экрана. : <http://www.khabkrai.ru/about/komsomolsky.html> // режим доступа свободный

**Цой О. М., Фетисова М. П., Ю С. О.**  
ПРОБЛЕМЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА  
ПО ВОПРОСАМ БЕСКОНФЛИКТНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**Цой О. М., Фетисова М. П., Ю С. О.**  
**O.M. Tsoi, M.P. Fetisova, S.O. Yu**

**ПРОБЛЕМЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА  
ПО ВОПРОСАМ БЕСКОНФЛИКТНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**PROBLEMS OF INTERNATIONAL COOPERATION ON THE ISSUES  
OF CONFLICT-FREE EMERGENCY SITUATIONS**



**Цой Олег Миронович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Дальневосточного филиала ФБГУ ВНИИ ГОЧС МЧС России (Россия, Хабаровск). E-mail: tsoi-olg@yandex.ru.

**Mr. Oleg M. Tsoi** – Ph.D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher, the Far-Eastern Branch of EMERCOM (Russia, Khabarovsk). E-mail: tsoi-olg@yandex.ru.



**Фетисова Мария Петровна** – начальник Дальневосточного филиала Центра экстренной психологической помощи МЧС России (Россия, Хабаровск). E-mail: maryafs@bk.ru.

**Ms. Marya P. Fetisova** – the Chief of the Far-Eastern Branch of the Center for Emergency Psychological Care, EMERCOM, Russia (Russia, Khabarovsk). E-mail: maryafs@bk.ru.



**Ю Светлана Олеговна** – аспирант Дальневосточной академии государственной службы (Россия, Хабаровск). E-mail: yu-sveta@ya.ru.

**Ms. Svetlana O. Yu** – PhD Candidate, the Far-Eastern Academy of Public Administration (Russia, city of Khabarovsk). E-mail: yu-sveta@ya.ru.

**Аннотация.** В статье рассмотрена концепция оптимизации работ по оказанию медицинской и экстренной психологической помощи пострадавшему населению в условиях чрезвычайной ситуации.

**Summary.** The paper deals with the concept of improving medical and emergency psychological care services provided for affected population in emergency situations.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, риск, база данных, спасательные работы.

**Key words:** emergency situation, risk, data base, rescue operations.

УДК 614.8

**Международное сотрудничество в области ликвидации последствий бесконфликтных чрезвычайных ситуаций.** В условиях глобального изменения климата происходит нарастание катастрофических природных явлений, возрастает и техногенный риск по

территории России и за ее пределами. География распространения катастрофических явлений как природного, так и техногенного характера достаточно обширна. Например, подводное землетрясение в Индийском океане 26 декабря в 2004 г. породило волны цунами, их наблюдали не только на побережье Индийского океана (см. рис. 1), но и на побережьях Мексики и Чили [1].



Рис. 1. Распространение волн цунами по Индийскому океану [1]

Гипоцентр землетрясения с магнитудой от 9,1 до 9,3  $M_w$ <sup>1</sup> находился в точке с координатами 3,316° с. ш., 95,854° в. д. (3° 19' с. ш., 95° 51,24' в. д.), на расстоянии 160 км к западу от Суматры (Индонезия), на глубине 30 км от уровня моря. В результате тектонических процессов произошёл сдвиг породы на 15 м вдоль зоны субдукции на расстояние 1200 км (по некоторым оценкам – 1600 км), в результате чего Индийская плита сдвинулась под Бирманскую плиту. При движении тектонических плит морское дно поднялось на несколько метров, в результате чего и появились разрушительные волны цунами. Они распространялись радиально от всего разлома длиной примерно в 1200 км.

Известно, что динамические параметры цунами в глубоководных частях океана несколько отличаются от характеристик волн мелководья. В глубоководной части волны цунами выглядят неприметно, но при этом они перемещаются со скоростью (500-1000 км/ч); в мелководье цунами замедляется до десятков километров в час, но при этом формирует громадные разрушительные волны.

Волны цунами от землетрясения в Индийском океане 26 декабря 2004 г. привели к огромным разрушениям, погибло по разным оценкам от 225 тыс. до 300 тыс. человек.

Примером природно-техногенного характера является авария на Фукусиме-1. 11 марта 2011 г. произошло землетрясение у восточного побережья японского острова Хонсю с магнитудой 9 баллов. Землетрясение привело к аварии энергоблоков на атомной электростанции (АЭС) Фукусима-1. Мир был обеспокоен возможностью ядерной катастрофы в Японии [3].

При рассмотрении вопроса распределения в пространстве и во времени наступления сроков чрезвычайных ситуаций<sup>2</sup> (ЧС) было выявлено, что явления часто происходят в разное

<sup>1</sup>  $M_w$  – магнитуда (шкала) по Канамори [2]

<sup>2</sup> **Чрезвычайная ситуация** – это состояние на объекте, определенной территории, акватории, где нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде в результате возникновения источника ЧС. Под источником ЧС понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, инфекционные болезни людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего происходит или может произойти ЧС. Все ЧС классифицируются как конфликт-

время и в разных местах. Поэтому на международном уровне появляется возможность перераспределения сил и средств, т.е. оптимизировать работу по ликвидации последствий (ЧС), организации спасательных работ, предоставлению материальных, технических и медицинских услуг, оказанию помощи пострадавшим и т.д. Эти вопросы успешно решаются на правительственных уровнях. Примеров международного сотрудничества более чем достаточно. Например, поисково-спасательные формирования из Великобритании работали в японском городе Камаиши по ликвидации последствий аварии АЭС на Фукусиме-1 с 16 марта 2011 г. С 15 марта в городе Сендай находились 79 российских спасателей. 16 марта в Японию вылетели еще два самолета МЧС России – Ан-74 и Ил-76 – со спасателями и экспертной группой «Росатома» на борту (82 человека, четыре единицы техники, поисково-спасательное оборудование). Оба самолета совершили посадку в аэропорту Нарита. Таким образом, команда российских спасателей в Японии составила 161 (79 + 82) человек – на тот момент это была самая большая иностранная группа [3].

Международные спасатели принимали активное участие и при тушении лесных пожаров на севере Израиля в декабре 2010 г. Пожары начались утром 2 декабря и к 3 декабря достигли масштабов национального бедствия. На тушении работали десятки пожарных расчетов практически со всего Израиля, задействованы были полиция и армия. Правительство Израиля обратилось к международному сообществу о помощи, на которую откликнулись следующие страны (в алфавитном порядке) [4; 5; 6] (см. табл. 1).

Таблица 1

Страны, принимавшие участие в тушении лесных пожаров в Израиле

Австралия	Египет	Палестинская автономия	Украина
Азербайджан	Иордания	Россия	Франция
Болгария	Испания	Румыния	Хорватия
Великобритания	Италия	Соединённые Штаты Америки	Чехия
Греция	Кипр	Турция	Швейцария

Россия по поручению президента Д.А. Медведева, МЧС направила в Израиль самолет Ил-76, который может сбрасывать за один заход более 40 т воды, самолет-амфибию Бе-200 и тяжелый вертолет Ми-26.

Свою помощь в борьбе с огнем Израилю также оказали Греция и Кипр, отправившие для тушения пожаров специальные вертолеты. Турция приняла решение направить к очагам возгорания пожарные самолеты. Франция направила в Израиль четыре пожарных самолета со специальным оборудованием. Свою помощь Израилю также предложили Соединенные Штаты и другие зарубежные страны [4; 5; 6].

В работу по оказанию медицинской и психологической помощи пострадавшему населению в условиях ЧС вовлечены медики и психологи.

За прошедшие годы специалисты Центра экстренной психологической помощи помогли пострадавшим в более чем 60 крупных чрезвычайных ситуациях федерального масштаба, участвовали в 17 международных гуманитарных операциях.

Ежедневно психологи МЧС<sup>3</sup> России выезжают вместе со спасателями на пожары, дорожно-транспортные происшествия, обрушения зданий и т.д. На психологическую службу МЧС России возложены следующие задачи [7]:

ные и бесконфликтные, характеризующиеся скоростью и масштабами распространения. К конфликтным ситуациям относятся военные столкновения, экономические кризисы, социальные взрывы, национальные и религиозные конфликты, террористические акты и др. К источникам бесконфликтных ЧС относятся техногенные, экологические и природные явления.

<sup>3</sup> **МЧС России** – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.



1. задача психологического сопровождения деятельности личного состава МЧС России: спасателей, пожарных, врачей, летчиков и других категорий. Это профессиональный отбор, психологическая подготовка, коррекция и восстановление психического здоровья, решение проблем, возникающих в связи с выполнением профессиональных обязанностей;

2. оказание экстренной психологической помощи пострадавшему населению при ЧС. Это направление работы во многом предопределило формирование и развитие психологической службы министерства.

Для успешного решения поставленных задач необходима подготовка, готовность психологов и медиков услышать пострадавшего для своевременного оказания помощи на случай возникновения ЧС. Очевидно, что каждый житель планеты также должен быть готов к такому общению<sup>4</sup>. Однако в пределах страны, а также за рубежом часто возникают проблемы при общении, например с глухонемыми или с людьми, которые не в состоянии говорить из-за полученных травм или не владеющими иностранными языками и т.д.

Для оказания медицинской помощи пострадавшему необходима предварительная информация о нем. Где ее взять в условиях ЧС? Эта возможность появиться, если предварительно создать базу данных (БД) на уровне города, региона, страны и т.д. о состоянии здоровья или другой справочной информации.

**Концепция оптимизации работ по оказанию медицинской и психологической помощи пострадавшим.** Для оказания своевременной медицинской и/или психологической помощи пострадавшим *фактор времени играет важную роль*. Очевидно, что современные технологии с использованием компьютеров, БД и универсальных электронных каточек [10; 11] позволят сократить время на диагностику пострадавших.

На (см. рис. 2) представлена схема взаимодействия граждан с лечебными учреждениями и Центром экстренной психологической помощи в условиях ЧС.

В общении с пострадавшими, как правило, часто возникают проблемы, обусловленные дефицитом времени, языковым барьером и т.д. Это связано с тем, что на Земле насчитывается около 5-6 тыс. языков при населении 7 000 000 000 чел. на 2011 г. На сорока наиболее распространенных языках разговаривает примерно 2/3 населения Земли. Больше всего людей говорят на *китайском, хинди, английском, испанском, арабском, русском, португальском и французском*. С развитием коммуникаций наблюдается тенденция сокращения языков. Одна из причин гибели языков – неравномерное распределение их по числу носителей. Так, 80 % населения планеты знает лишь 80 языков. При этом 3,5 тыс. языков приходится на 0,2 % жителей Земли. Основная причина процесса исчезновения языков считается глобализация и миграция. Люди уезжают из деревень в города и теряют язык своего народа [8].

Знание иностранных языков для сотрудников Центра экстренной психологической помощи МЧС России приветствуется, однако существует проблема – нельзя знать всех языков мира. Для подобных случаев авторы предлагают использовать язык жестов, причем не отдельных слов, составленный из букв языка жестов, а наиболее распространенных фраз со своим алфавитом. На первоначальном этапе проекта можно ограничиться в количестве 100 фраз. Очевидно, что их необходимо перевести на многие вербальные языки мира и на единый невербальный язык жестов, который будет разработан. Впоследствии количество фраз можно расширить. Обучение базовому фразеологическому «словарю» необходимо организовать на международном уровне, по возможности, с применением мультимедийных средств. Для этой цели авторы проекта планируют создание звукового видеофильма и тематического фразеологического словаря, на разных языках мира с сурдопереводом. Пособие должно быть доступно каждому жителю планеты. Такой подход будет полезным на международном уровне, а также в пределах страны, где возникают проблемы при общении, напри-

<sup>4</sup> *Общѐние* – процесс установления и развития контактов между людьми, порождаемый потребностями совместной деятельности, включающий в себя обмен информацией, обладающий взаимным восприятием и попытками влияния друг на друга.

мер с глухонемыми или с людьми, которые не в состоянии говорить из-за полученных травм или болезней (инсульт и т.д.).

На (см. рис. 2, б) предусмотрена возможность получения медперсоналом, используя соответствующий терминал, всей необходимой информации вплоть до консультации с ведущими специалистами как отечественными, так и зарубежными.

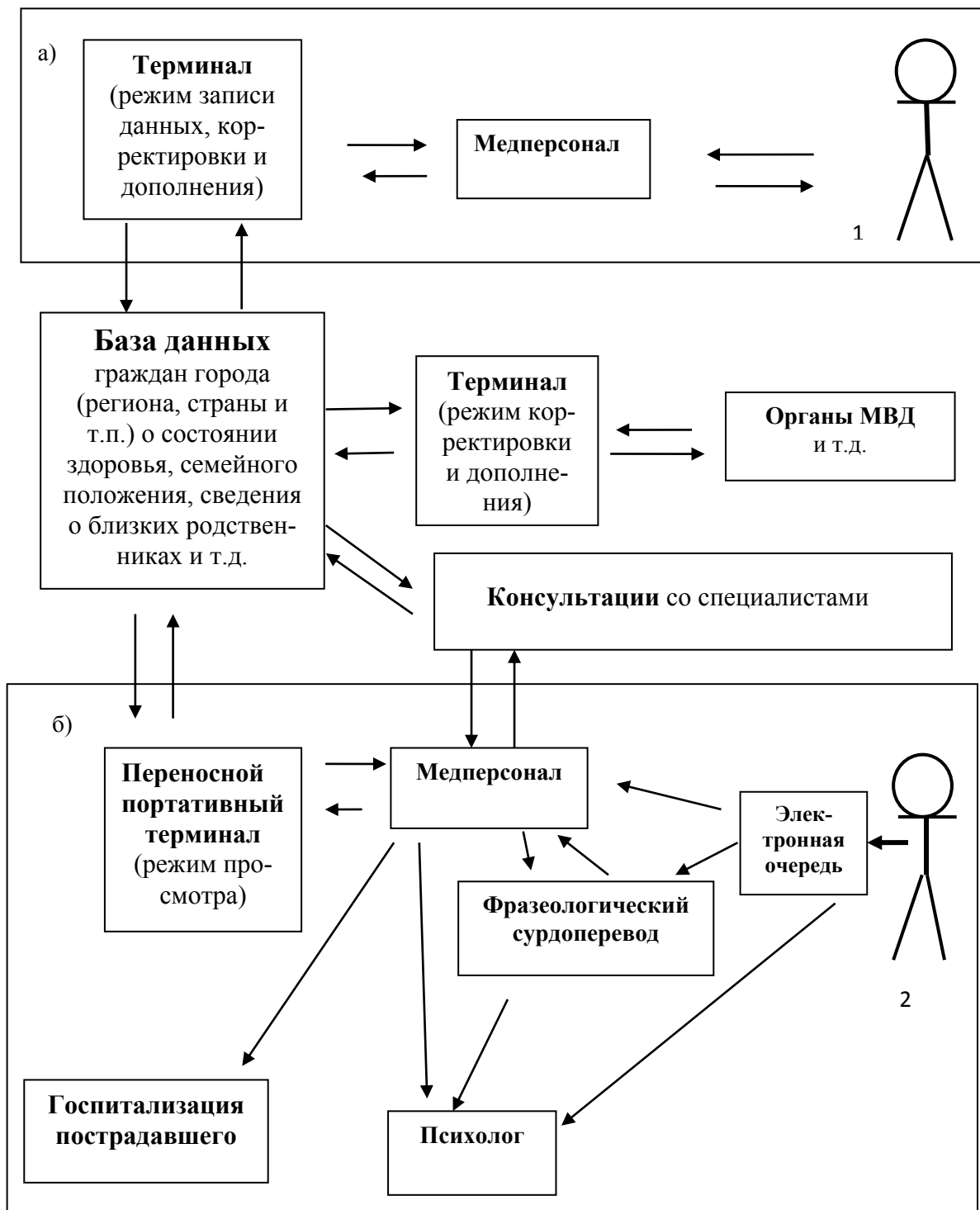


Рис. 2. Схема взаимодействия пострадавшего в условиях ЧС для получения медицинской и/или психологической помощи: а – жителю планеты (1) на период его жизни; б – на случай ЧС.

Замечание. При большом количестве пострадавших рекомендуется использовать электронную очередь



**Выводы.** Одной из актуальных задач повышения эффективности управления Всероссийской службой медицины катастроф (ВСМК) является проблема ее информационного обеспечения.

Создание информационного обеспечения ВСМК осуществляется с учетом положений Федерального закона Российской Федерации «Об информации, информатизации и защите информации», регулирующих правоотношения в области формирования и использования информационных ресурсов в нашей стране.

Разработка информационного обеспечения осуществляется по следующим направлениям [9]:

1. создание понятийного аппарата, включающего определения, классификации катастроф;
2. создание отраслевой научно-технической информации;
3. разработка системы показателей, характеризующих состав, структуру и обеспеченность населения, субъектов Российской Федерации силами и средствами ВСМК, а также характер и объем ее деятельности;
4. создание компьютерных технологий для обработки учетной, плановой и отчетной документации;
5. создание локальных систем БД, информационно-поисковых систем, автоматизированных рабочих мест для решения отдельных задач управления ВСМК на разных уровнях (федеральном, территориальном, муниципальном и объектовом);
6. разработка и внедрение автоматизированных информационно-управляющих систем ВСМК.

Очевидно, что предлагаемые авторами статьи реализация концепции будет иметь самостоятельное значение и будет хорошим дополнением к разрабатываемым направлениям ВСМК, в частности по использованию всемирной базы данных, объединяющей сеть БД различных уровней.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение\\_в\\_Индийском\\_океане\\_в\\_2004\\_году](http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Индийском_океане_в_2004_году)
2. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитуда\\_землетрясения](http://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитуда_землетрясения)
3. <http://buhiaud.mypage.ru/?page=3>
4. [http://ria.ru/trend/forest\\_fire\\_Israel\\_03112010/](http://ria.ru/trend/forest_fire_Israel_03112010/)
5. <http://eco.ria.ru/danger/20101205/304785333.html>
6. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Лесные\\_пожары\\_в\\_Израиле\\_\(2010\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Лесные_пожары_в_Израиле_(2010))
7. Шойгу, Ю. С. Психологической службе МЧС России 12 лет / Ю. С. Шойгу // <http://www.mchs.gov.ru/> от 16.09.2011
8. <http://ru.wikipedia.org/wiki/язык>
9. <http://medspasatel.ru/category/avarijno-spasatelnye-formirovaniya/>
10. <http://protivkart.org/o-yek/40-universalnaya-elektronnaya-karta-uek-podrobnosti.html>
11. Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг: федер. закон от 27 июля 2010 г. 210-ФЗ // Российская газета. – № 5247 – 30 июля 2010 г.

**Грицкевич Д. И.**

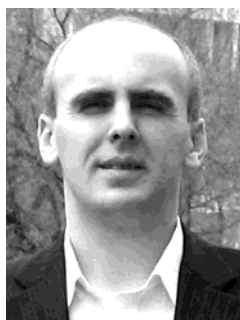
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕОЛОГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСОЛИДАЦИИ  
ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Грицкевич Д. И.**

**D.I. Gritskevich**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕОЛОГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСОЛИДАЦИИ  
ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ENVIRONMENTAL IDEOLOGY AS A TOOL FOR CONSOLIDATION OF THE CIVIL  
SOCIETY IN THE RUSSIAN FEDERATION**



**Грицкевич Денис Иванович** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8-914-175-27-90.

E-mail: dionis0707@mail.ru

**Mr. Denis I. Gritskevich** – PhD in Biology, Associate Professor, Department of Health&Safety Studies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin avenue; 8-914-175-27-90. E-mail: dionis0707@mail.ru.

**Аннотация.** В современном мире господствует рыночная идеология, декларируемые ценности которой – благосостояние и безопасность. Экологизм как новое натурфилософское течение не находит отклика в массовом сознании. Стране остро необходима объединяющая идеология, пробуждающая в людях лучшие стремления и чувства. В статье рассмотрены условия для реализации Концепции всеобщей гражданской экологической обязанности, как одного из способов консолидации гражданского общества.

**Summary.** Contemporary world is being dominated by market ideology whose professed values are well-being and safety. Environmentalism as a new natural philosophy trend doesn't find much response in popular mentality. A uniting ideology which could be capable of inspiring best aspirations and feelings in people is what the country needs badly right now. The paper considers conditions necessary for implementation of the Concept of General Civil Environmental Responsibility, as one of the ways to consolidate the civil society.

**Ключевые слова:** экологическая идеология, совершенствование среды обитания, высокая культура, управление, концепция гражданской экологической обязанности.

**Key words:** Environmental ideology, habitat improvement, high level of culture, management, concept of civil environmental responsibility.

УДК 504.75:37

Не секрет, что основная задача идеологии – управление мотивациями людей. Идеология базируется на искусственно созданной системе ценностей, которые при правильном внедрении формируют у людей нужные мотивации. В классовом обществе идеология всегда носит классовый характер, отражая интересы господствующего класса [1]. Вне зависимости от формы правления в любом обществе выражена некая стратификация, в которой слои (сословия, касты и проч.) придерживаются собственной системы ценностей. Ценности более высокого сословия остаются чрезвычайно привлекательными. Так, рабочий класс через собственную ценность – мастерство – стремился к богатству, торговцы через успех на рынке стремились к власти и знатности, воины и правители через честь и благородство стремились к мудрости, а брамины от науки и религии искали Бога через познание и духовность.

В современном мире господствует рыночная идеология, декларируемые ценности которой – благосостояние и безопасность. Система ценностей всегда опирается на базовые



потребности, несколько или значительно их искажая в интересах господствующей группы. Сами же потребности являются отражением базовых рефлекторных программ. Например, согласно Закону минимума диссипации энергии, любое существо выбирает из множества вариантов тот, при котором оно тратит наименьшее количество энергии. Это позволяет организму сохранить энергию для дальнейшего выживания. Таким образом, одна из рефлекторных программ самосохранения, свойственная в том числе человеку, определяет то, что он целиком поддерживает стремление государства к безопасности и благосостоянию. Очень удобно, однако данная система просто не предполагает поправки на любые ценности, кроме ценностей рынка. Таким образом, ценности сословия «браминов», к которым относятся гармония с окружающим миром, единство всего живого, ноосфера и прочее, о чём писали В.И. Вернадский, Н.Ф. Фёдоров, В.С. Соловьёв, становятся принципиально непонятными, а потому отвергаемыми.

Экологизм как новое натурфилософское течение, отстаиваемый представителями интеллектуальной элиты, масштабно мыслящими политическими лидерами, распространен именно в их среде, но он не находит отклика в массовом сознании. В последнее время пришло осознание того факта, что без привлечения идеологически ориентированного мировоззрения экологический призыв к сохранению природы и жизни на Земле не может найти убедительного оправдания ни в философском и научном знании, ни на практике [2].

Исследования в области экологической идеологии принадлежат, в основном, экономистам Римского клуба и сводятся к знакомому всем компромиссу рационального природопользования в угоду господствующему классу. Смена ценностных установок в обществе грозит современному рыночному мироустройству неминуемой и быстрой гибелью, поэтому возникают такие «пугалки», как работы Дугласа Р. Винера, профессора Аризонского университета (США), связывающие идеи гармонии с природой с фашизмом [3]. Руководство Российской Федерации всё активнее вступает в диалог с наукой и культурой, что является свидетельством стремления власти к мудрому правлению. При этом главной политической силе страны остро необходима *объединяющая* идеология, пробуждающая лучшие стремления и чувства людей вне принадлежности к классу. Прилагательное «объединяющая» станет страховкой от фашизма.

Что же является общим для всех людей, для которых даже Бог имеет принципиально разные имена? Ответ прост – любовь к Земле. Любовь – лучший побудительный мотив к действию, лучший воспитатель альтруизма. Прекрасная идея изложена в знакомых экологам книгах Владимира Мегре [4] уже как необходимый для внедрения слоган – «*Совершенствование среды обитания*». Природа и жизнь на Земле оказались в опасности, люди должны исправить положение вещей. Это постулат здравого смысла – объединяющей идеологии, основанной на ценностях общечеловеческой культуры. Вообще никакой идеологии, кроме совести, человеку и не нужно, но это понимание браминов. Именно поэтому они нехотя встают в ряды политических движений и предпочитают заниматься, к примеру, фундаментальной наукой, чем участвовать в построении принципиально иной схемы управления миром.

Представим идеальный вариант – власть, наука и культура нашли друг друга. Затем должен следовать процесс внедрения идеологии. На *первом этапе* внедрения, название которого – «*Трезвость*», кардинально необходимо отрезвить народ. Жесткая, бескомпромиссная антиалкогольная, антитабачная и антинаркотическая политика является непременным условием роста осознанности и культуры масс. Без компромиссов и различных лобби.

На *втором этапе* («*Доверие*») должна быть решена очень тяжёлая для России проблема доверия населения к власти. Полумерам и предвыборному пиару люди поверят, чиновникам, выросшим в системе, где обман и воровство – это способы выживания, тоже.

**Грицкевич Д. И.**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕОЛОГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСОЛИДАЦИИ  
ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Все экологи знают, что главным нарушителем природоохранного законодательства является само государство. Государству придётся идти на значительные убытки, связанные с реальными экологическими проектами, чтобы по крупицам накапливать доверие населения, начиная с мелочей, таких как Химкинский лес, и заканчивая шламовыми морями от нашего столь денежного нефтепромысла. Без государственных экологических решений разрыв между государственной машиной и обществом только увеличится. Наряду с этим, воспитание нового поколения интеллектуальной и управленческой элиты как национальный проект должно реализовываться уже на платформе ценностей более высокого порядка: чести, совести, благородства, сочувствия и давно забытого бескорыстия. Именно государство должно стать инициатором пропаганды новых ценностей, не партии, не общественность.

На *третьем этапе (Просвещение)* должен реализоваться ряд долгосрочных образовательных и просветительских проектов во всех слоях населения. Это также должна быть государственная инициатива, сначала как игра в бадминтон, а затем законодательно закреплённая, с созданной правовой, организационной и материальной базой. Здесь совершенствование среды обитания становится идейной основой множества уже существующих и будущих экологических проектов. В этой связи необходимо внедрение опыта пермакультуры в русском, австрийском или японском вариантах [5], как прекрасной возможности рекультивации земель, с одной стороны, и опыта создания гармонии в отдельно взятом пространстве, с другой. Надо дать людям землю и научить людей грамотно (т.е. экологично) её возделывать.

Через новую систему экологического знания станет возможным постепенное изменение отношения к природной среде, формирование новой шкалы ценностей, нового миропонимания – экософии [6]. Экологическое образование включает формирование экологических представлений, формирование субъективного отношения к природе и формирование стратегий и технологий непрагматического взаимодействия с природой [7, 336-350]. Для школьников это просто – расширить все формы полевых исследований, для этого создать систему повышения квалификации преподавателей, ввести экологию как учебную дисциплину, расширить гуманитарную составляющую общего образования, создать систему школьных СМИ, ориентированную на трансляцию высокой культуры, в том числе и экологической [8, 82-86]. Вопрос о государственных СМИ требует отдельного рассмотрения в рамках утверждаемой идеологии.

Для вовлечения взрослого населения мы предлагаем инновационный социальный проект – *Концепцию всеобщей гражданской экологической обязанности* на основе альтернативной воинской службы [9, 161-165]. Контур концепции был доложен на Всероссийской научно-практической конференции «Экологическая модернизация России – роль науки и гражданского общества» в октябре 2010 года (г. Москва), а также на Второй Всероссийской конференции по экологическому образованию в ноябре 2011 года (г. Москва).

В России давно необходимы институты грамотной реализации альтернативной военной службы. Технологии призыва – совместные с Вооружёнными Силами, контингент, подлежащий призыву, более широкий по причине отсутствия строевой подготовки и контакта с оружием. Срок службы, возраст и пол призывников может быть рассмотрен отдельно.

В области образования реализация Концепции подразумевает:

1-й этап подготовки (обязательный) – на базе средней и средней специальной школы. Учащиеся приобретают знания, умения и навыки в области экологии и безопасности жизнедеятельности.



2-й этап подготовки (обязательный) – во время прохождения срочной экологической службы через систему комплексных учебных центров Министерства природных ресурсов и МЧС в контакте со специалистами сфер образования и здравоохранения. По окончании обучения выдаётся документ государственного образца о приобретении квалификации (специальности). Приобретённая в период прохождения службы профессия позволит трудоустроиться по рабочим специальностям и применять полученные навыки на практике.

3-й этап подготовки (обязательный) – выездные сборы работающей части населения на срок 1 месяц через каждые 5 лет после окончания службы в вооружённых силах или экологических войсках до достижения возраста 45 лет.

4-й этап подготовки (профессиональный) – на базе высшей школы. Происходит подготовка преподавателей учебных центров.

Специальный этап подготовки – на базе специализированных учреждений с особым режимом отбывания наказания через создание системы пунктов обучения и получения профессии в рамках Концепции с возможным последующим призывом на экологическую службу (в зависимости от статьи, необходимо для несовершеннолетних заключённых). Возникают условия социальной адаптации лиц, отбывших наказание.

Вопрос взаимодействия Министерства обороны, в чьей юрисдикции находятся как призыв, так и альтернативная служба, с другими министерствами и ведомствами требует отдельного рассмотрения. Региональные центры Минприроды и МЧС вместе с отделами охраны окружающей среды местных администраций осуществляют наполнение практической части работ экологообязанных.

Программы обучения, то есть наполнение теоретической части, формируются с обязательным учётом экологических и прочих особенностей региона, поскольку целесообразно прохождение экологической службы по месту жительства (приятно чистить речку, которую знаешь с детства).

Министерство спорта, туризма и молодёжной политики активно разрабатывает часть обучающей программы по физической подготовке экологообязанных. На основе реализации компонента физической подготовки и компонента общения с природой возникает возможность активного внедрения идей здорового образа жизни.

Экономическая эффективность очевидна:

- реализация проектов по защите, сохранению и совершенствованию среды обитания (рекультивация земель, лесовосстановление и многое другое);
- трудоустройство молодёжи;
- трудоустройство высококвалифицированных военнослужущих запаса;
- минимизация ущерба при возникновении чрезвычайных ситуаций, не требующих при ликвидации специальной профессиональной подготовки (*чрезвычайно важно соблюдать высочайший уровень защиты экологообязанных от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды в условиях ЧС или на работах экологического характера*).

Появляются действенные силы и чёткие механизмы защиты и восстановления природной среды. Формируется эколого-ориентированное общество, гораздо более грамотное, имеющее навыки совершенствования среды обитания. Само принятие Концепции экологизирует все сферы деятельности государства и будет незамедлительно свидетельствовать о росте цивилизованности России, о победе экологического мировоззрения, об эволюционной трансформации индустриального общества в социально ответственное.

Но самое главное – происходит ориентация массового сознания на гармоничное взаимодействие, защиту и совершенствование среды обитания, что является мощным сред-

**Грицкевич Д. И.**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕОЛОГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСОЛИДАЦИИ  
ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ством социальной стабилизации. Данная программа апеллирует к высшему руководству страны. Власть располагает наилучшими аналитическими резервами, и поверить, что нас не слышат или недопонимают, – близоруко. Единственное, что может нас объединить – это любовь к Земле, стране остро необходима объединяющая идеология, пробуждающая в людях лучшие стремления и чувства.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Большая Советская Энциклопедия (Электронный ресурс) <http://slovari.yandex.ru/~книги/БСЭ/Идеология/>
2. Митченков, И. Г. Идеология как фактор позитивизации экосоциальных отношений: автореф. дис. ... д-ра филос. наук / Митченков И. Г. – Томск, 2002. – 24 с.
3. Винер Д. Р. Экологическая идеология без мифов / Д. Р. Винер // Вопросы философии. – 1995. – № 5 (Электронный ресурс) <http://ecoforum2.narod.ru/hem11/digest1.htm>
4. Мегре, В. Н. Анаста / В. Н. Мегре. – СПб.: Изд-во «ДИЛЯ», 2010. – 288 с.
5. Хольцер З. Пермакультура Хольцера в Украине и России / З. Хольцер. – М.: ООО «РоялПринт»; Днепрпетровск, Украина, 2010. – 162 с.
6. Дьяков, А. В. Феликс Гваттари: Шизоанализ и производство субъективности / А. В. Дьяков. – Курск: Изд-во Курск. гос. ун-та, 2006. – 246 с. (Электронный ресурс) <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000945/>
7. Дерябо, С. Д. Экологическая педагогика и психология / С. Д. Дерябо, В. А. Ясвин. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 1996. – С. 336-350.
8. Грицкевич, Д. И. Экологическая безопасность и экологическое сознание / Д. И. Грицкевич // Проблемы и пути решения инвестиционной и инновационной политики на предприятиях Хабаровского края: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2004. – С. 82-86.
9. Грицкевич, Д. И. Необходимость разработки концепции всеобщей гражданской экологической обязанности / Д. И. Грицкевич, В. И. Крысеев // Дальневосточная весна – 2011: материалы 11-й науч.-практ. конф. с междунар. участием (Комсомольск-на-Амуре, 7 июня 2011 г.). – Комсомольск-на-Амуре, ГОУВПО «КнАГТУ», 2011. – С. 161-165.

**Овчинников И. Д.**  
**I.D.Ovchinnikov**

**УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ В СУДОСТРОЕНИИ**

**MANAGEMENT OF SHIPBUILDING EXPENDITURES**



**Овчинников Игорь Дмитриевич** – инженер-кораблестроитель, кандидат экономических наук, доцент кафедры кораблестроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: igor\_ovch@mail.ru.

**Mr. Igor D. Ovchinnikov** – shipbuilding engineer, PhD in Economics, Associate Professor, Department of Shipbuilding, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: igor\_ovch@mail.ru.

**Аннотация.** В статье рассмотрен комплекс вопросов, связанных с построением и работой системы управления затратами на судостроительном предприятии. Исследованы роль, место и значение системы управления затратами на предприятии. Сформулированы рекомендации для достижения и поддержания требуемого уровня управления затратами на судостроительном предприятии.

**Summary.** The paper deals with a range of problems linked to development and operation of a system of expenditure management at a shipbuilding plant. The role, place and importance of such a system are investigated. Recommendations are offered for achieving and maintaining a necessary level of expenditures management at a shipbuilding enterprise.

**Ключевые слова:** затраты, судостроение, судостроительное предприятие, система управления затратами.

**Key word:** expenditures, shipbuilding, shipbuilding plant, expenditures management system.

УДК 658.012

Судостроительное производство характеризуется рядом специфических особенностей, основными из которых являются техническая и технологическая сложность, единичное и мелкосерийное производство, применение большого количества разнообразных технологических процессов и начало строительства судна при незавершенной технической подготовке производства. Эти особенности не позволяют точно рассчитать плановые затраты, поэтому цена и, соответственно, плановая себестоимость судна определяются по укрупненным нормативам. В ней учитываются все затраты на производство, кроме того себестоимость характеризует производственно-хозяйственную деятельность предприятия, эффективность управления экономикой на всех ее уровнях. Известны методы управления затратами, которые можно назвать агрегатными, суть которых заключается в разделении технического объекта на агрегаты, нормативной оценке их себестоимости и разработке конструкции и технологии, обеспечивающих заданную себестоимость изготовления. Использование этого метода дает неплохой результат в крупносерийном и массовом производстве [1]. Но указанные особенности судостроения не позволяют реализовать такой способ управления затратами.

Однако управление затратами, основанное на изменении подхода к их формированию, может быть и должно быть реализовано в судостроении, производящем технологически сложную продукцию с длительным циклом изготовления. Ведь если цена, определяемая плановыми затратами, позволяет предложить на рынке конкурентоспособную продукцию, то это вовсе не означает, что фактические затраты, которые предприятие понесет при ее изготовлении, будут соответствовать плановым.

В процессе производства на отклонение затрат от плановых величин влияет множество факторов. Все эти факторы целесообразно классифицировать в две группы по критерию зависимости от предприятия.

К первой классификационной группе следует отнести факторы, возникновение и действие которых практически не зависит от предприятия. Основными из них являются изменение цен на используемые материалы, комплектующие изделия, энергию, изменения в налоговом законодательстве и т.п. Эти факторы просто следует учитывать, прогнозируя их появление и влияние на затраты, которые предприятие понесет при изготовлении своей продукции.

К факторам второй группы относятся те, возникновение и воздействие которых на себестоимость продукции зависит от самого предприятия. Основным фактором этой группы является выявляемое в процессе производства несовершенство технологии и, соответственно, необходимость дополнительных затрат ресурсов на обеспечение качества, требуемого условиями рынка. Сюда же следует отнести необходимость устранения ошибок при выполнении проектных работ, от которых нет гарантированной защиты даже при использовании автоматизированных систем проектирования; необходимость отработки технологий при использовании новых материалов, комплектующих, оборудования и оснастки. При единичной технически сложной и особо сложной продукции с длительным циклом изготовления это все неизбежные процессы.

Однако воздействие на себестоимость продукции от факторов второй классификационной группы можно существенно уменьшить или вообще свести к нулю, если эффективно организовано управление затратами. Сложившийся стереотип причинно-следственной связи в процессе формирования затрат представлен на рис. 1.

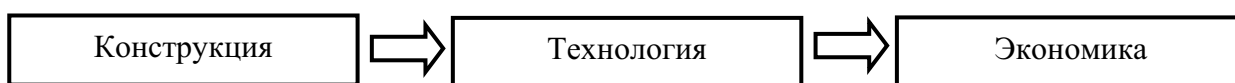


Рис. 1. Традиционно сложившаяся причинно-следственная связь

По конструкторской документации разрабатывается принципиальный технологический процесс и рабочие техпроцессы, выполнение работ по которым определяет затраты. Организовать эффективное управление затратами при таком подходе практически невозможно. Эффективное управление затратами можно организовать, если изменить сложившийся стереотип (рис. 2).

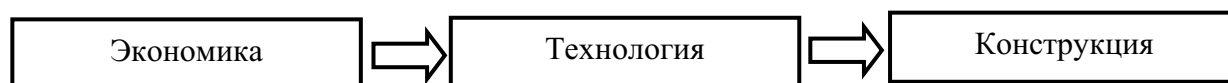


Рис. 2. Измененная причинно-следственная связь

Такое изменение означает, что экономисты должны выдавать задания инженерам обеспечить такие технологии и конструкции, использование которых не позволяет фактическим затратам превышать плановые. Но для реализации измененного подхода необходима разработка инструмента, который должен быть в руках экономистов.

Такой инструмент для управления затратами разработан методом ключевых элементов [2] для принятия решений и представляет собой систему управления затратами на основе информационной базы данных. Система управления затратами состоит из следующих основных элементов (связи системы не рассматриваются):

- 1) информационной базы данных (картотеки фактических затрат);
- 2) комплекса процедур по сбору информации и ведению базы данных;
- 3) классификатора отклонений фактических затрат от плановых;

- 4) комплекта первичных учетных документов;
- 5) аналитики отклонений фактических затрат от плановых;
- 6) комплекса мер для обеспечения достоверности информации по отклонениям;
- 7) интерфейса пользователя;
- 8) защиты информации;
- 9) архивирования результатов анализа.

Центральным основным элементом системы управления затратами является информационная база данных (картотека затрат) фактических затрат, которая используется для выполнения анализов и, соответственно, обработки информации, содержащейся в ней [3]. Она должна быть автоматизирована на основе реляционной структуры. Остальные элементы системы управления затратами, взаимодействуя с базой и между собой, обеспечивают ведение базы данных, выполнение анализов, создание удобного интерфейса пользователя с подсказками, защиту информации и архивирование полученных результатов анализов фактических затрат по каждому внутривозовскому заказу.

Чтобы обеспечить выполнение анализов, необходимых для принятия решений по управлению затратами, общая база данных должна состоять из  $k$  баз, каждая из которых соответствует  $k$ -му внутривозовскому заказу и имеет соответствующую структуру (рис. 3). Каждый раздел  $k$ -й базы данных соответствует разделу бухгалтерской картотеки затрат на производство.

Каждый раздел калькуляции должен быть разделен на подразделы, где нулевой подраздел – это затраты, соответствующие плановой калькуляции, а каждый подраздел от первого до  $n$ -го соответствует одному шифру отклонений фактических затрат от плановых. Шифры отклонений необходимо разработать так, чтобы каждый из них однозначно определял причину отклонения или, в крайнем случае, группу родственных причин.

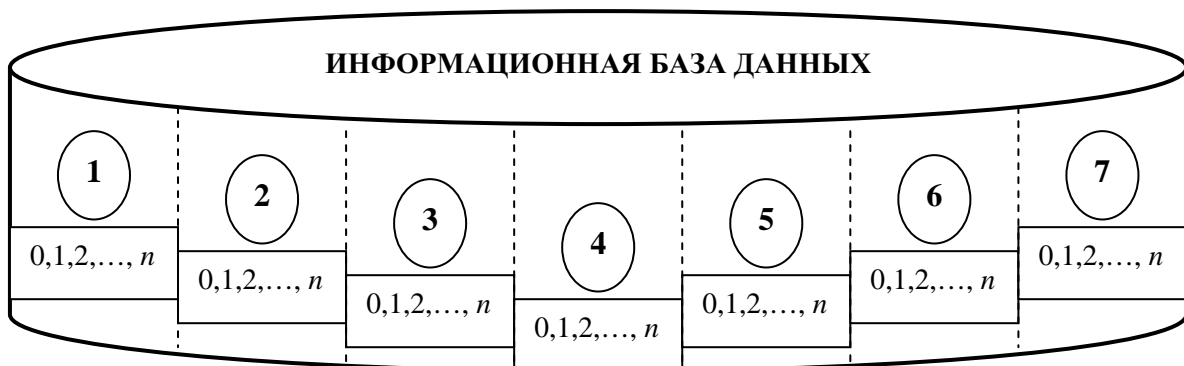


Рис. 3. Структура  $k$ -й базы данных фактических затрат:

- 1 – материалы; 2 – комплектующие; 3 – полуфабрикаты; 4 – зарплата; 5 – цеховые накладные расходы; 6 – заводские накладные расходы; 7 – брак; 0, 1, 2, ...,  $n$  – подразделы статей калькуляции, соответствующие шифрам несоответствий (отклонений)

Информация о затратах должна заноситься в базу данных и храниться в ней отдельными записями, при этом одна запись должна соответствовать одному первичному учетному документу. Запись в обязательном порядке содержит дату возникновения первичного документа. Наличие этого реквизита в базе данных необходимо, потому что часть отклонений фактических затрат от плановых может носить сезонный характер. Они зависят от влияния на технологические процессы (сварка, окраска, нанесение покрытий и т.п.) внешней среды. В числе других реквизитов, которые содержат первичные учетные документы и которые не сохраняются теперь в картотеке затрат, находится реквизит «технологический комплект». Технологический комплект представляет собой обособленный объем работ, который выполняется при изготовлении продукции. Например, применительно к судостроению это может быть

сборка или сварка секции корпуса, монтаж линии вала, испытание системы пресной воды и т.п. Технологические комплекты используются для планирования, учета и отчетности. Этот реквизит первичного учетного документа соединяет затраты с технологическими операциями, номером цеха и прочими необходимыми для выполнения анализов данными. Естественно, для того чтобы иметь возможность вносить в базу данных информацию на основе первичных учетных документов, иметь к ней доступ и выполнять необходимые анализы, должно работать требуемое для этого программное обеспечение, которое одновременно выполняет роль контроля вводимой информации.

Одно- и многоуровневые анализы отклонений фактических затрат от плановых позволяют выявить все, что связано с отклонениями: их причины, технологические операции, цехи, участки и т.д. Эта аналитика позволяет экономистам формулировать задание инженерам на совершенствование технологии и конструкции, чтобы фактические затраты укладывались в плановые. Пример двухуровневого анализа приведен на рис. 4 и 5.

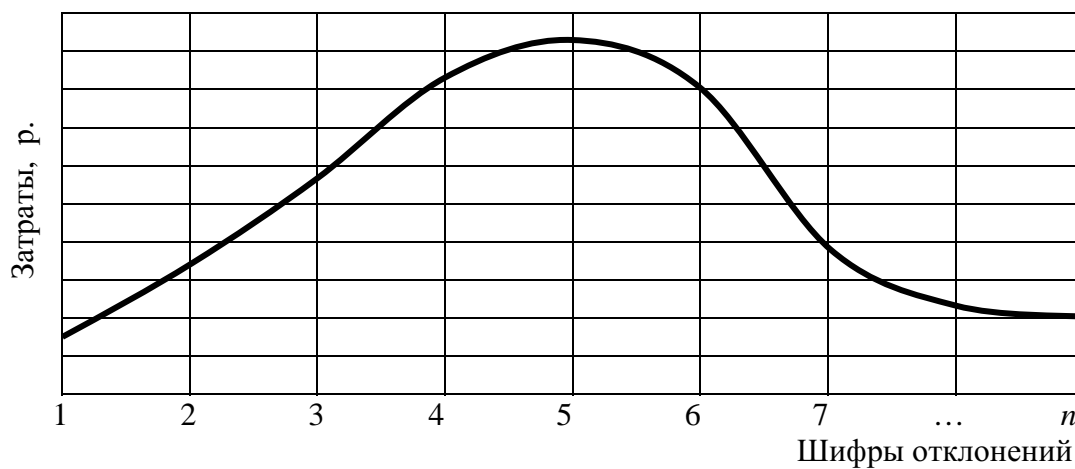


Рис. 4. Распределение отклонений фактических затрат от плановых по причинам (анализ 1-го уровня)

Анализ 1-го уровня показывает, что наибольшие отклонения происходят по причинам 4, 5 и 6, поэтому на 2-м уровне анализа необходимо исследовать затраты по этим причинам. По результатам анализа 2-го уровня экономистами может быть выдано задание инженерам на совершенствование технологии при выполнении операции 4 для устранения превышения фактических затрат над плановыми.

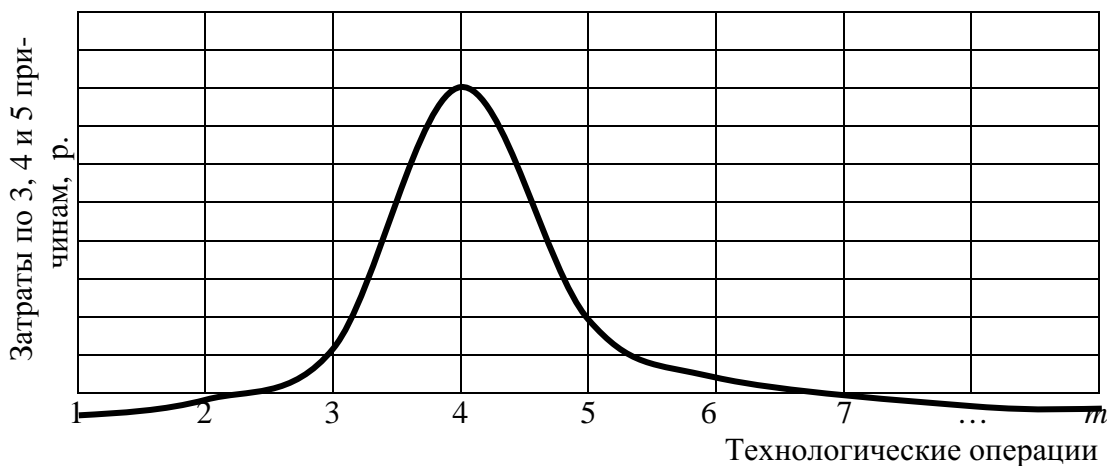


Рис. 5. Распределение отклонений фактических затрат от плановых по технологическим операциям (анализ 2-го уровня)



Эффективность мер, которые будут приниматься по результатам этих многоуровневых анализов, зависит от достоверности информации в первичных учетных документах. Особенно это касается причин отклонений, так как всегда существует и будет существовать тенденция сокрытия истинных причин отклонений. Тенденция вполне объяснима желанием работников обезопасить себя, но соглашаться с ее существованием нельзя.

Реальным способом добиться достоверной информации в первичных учетных документах по причинам отклонений может стать привлечение к этой работе основного ядра системы управления качеством, цеховых комиссий по качеству. Каждый дополнительный рабочий наряд, каждое дополнительное требование формы М11, М12 должны рассматриваться на этой комиссии и только там проставляться шифры отклонений. Для усиления контроля и, соответственно, повышения достоверности информации об отклонениях заводская комиссия по качеству должна периодически проверять достоверность простановки шифров отклонений цеховыми комиссиями. Это сложная и выматывающая руководителей работа, однако, она с довольно высокой вероятностью обеспечит достоверность информации об отклонениях затрат в первичных учетных документах. Существуют и другие способы для этого. Здесь же приведен только тот, который, не требуя особых ресурсов, хорошо показал себя на практике.

Разработанная система управления затратами, являясь инструментом экономистов, позволяет точно выявить центры превышения фактических затрат над плановыми. Это дает возможность предприятию точечным (малым) приложением имеющихся ресурсов ликвидировать превышения или уменьшить их до приемлемого уровня. Кроме того, учитывая специфику информационных ресурсов [4], базу данных, используемую для управления затратами, можно использовать для получения отчетных калькуляций, а также применить ее при разработке соответствующей методики для прогнозирования себестоимости заказов с длительным технологическим циклом изготовления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Якокка, Л. Карьера менеджера / Л. Якокка, У. Новак; пер. с англ.; общ. ред. и вступ. ст. С. Ю. Медведева. – М.: Прогресс, 1991. – 384 с.
2. Овчинников, И. Д. Методы оптимизации: учеб. пособие / И. Д. Овчинников, Н. А. Мытник. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 115 с.
3. Баканов, М. И. Теория экономического анализа: учеб. / М. И. Баканов, А. Д. Шеремет. – 4-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 416 с.
4. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономика, 1975. – 700 с.

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**CONSTRUCTIONS AND ARCHITECTURE**

**Сысоев О. Е., Биленко С. В.**  
**O. E. Sysoev, S. V. Bilenko**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**FORECASTING LONG-TERM STRENGTH-BASED CONSTRUCTION MATERIALS FRACTAL ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION**

**Сысоев Олег Евгеньевич** – кандидат технических наук, профессор, декан факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 7 (4217) 241-141. E-mail: fks@knastu.ru

**Mr. Oleg E. Sysoev** – PhD in Engineering, Professor, Dean of the Faculty of Cadastre and Civil Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia, Komsomolsk-on-Amur 681013, 27 Lenina Pr., tel.: + (74217) 241-141. E-mail: fks@knastu.ru

**Биленко Сергей Владимирович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 7 (4217) 241-230. E-mail: s.bilenko@knastu.ru

**Mr. Sergey V. Bilenko** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenina pr. E-mail: s.bilenko@knastu.ru.

**Аннотация.** Рассмотрена эволюция структуры алюминиевых сплавов при циклическом нагружении. Предложена методика, позволяющая акустическими методами идентифицировать и избирательно исследовать процессы, происходящие на макро-, мезо- или микроуровнях деформируемого материала. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие адекватность методики.

**Summary.** The evolution of the structure of the aluminum alloy under cyclic loading. The technique, which allows acoustic methods to identify and selectively investigate the processes at the macro-, meso- and micro-levels of deformable material. The experimental evidence for the adequacy of procedures.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, циклическое нагружение, деформация, фрактальный анализ.

**Key words:** acoustic emission, cyclic loading, deformation, fractal analysis.

УДК 53.082.4

**Введение**

В настоящее время в авиа и ракетостроении широко используются легкие алюминиевые сплавы, работающие под воздействием малоцикловых нагружений при высокой интенсивности напряжений.

За последние годы произошел ряд внезапных разрушений строительных конструкций, выполненных из стальных и алюминиевых сплавов, испытывавших малоцикловые нагрузки. Конструкции были запроектированы с соответствующими запасами прочности, но без учета состояния структуры материала деталей. Достоверное определение сроков службы металлических конструкций затруднено неоднородностью строения поликристаллов реальных конструкционных материалов, используемых в промышленности, и разноориентированностью кристаллических решеток составляющих их монокристаллов.



При прогнозировании долговечности конструкций при циклических нагрузках необходимо учитывать физические процессы, происходящие в структуре материалов. Однако во время работы конструкции под нагрузкой, а также во время проведения экспериментальных исследований невозможно традиционными методами материаловедения зафиксировать в режиме реального времени изменения структуры материала на нано- и микроуровнях. Это вызывает необходимость разработки новых методов прогнозирования длительной прочности конструкций, позволяющих учитывать исходное состояние структуры и идентифицировать изменения, происходящие в конструкционных материалах в процессе работы. Эффективным средством анализа физических процессов, протекающих в материале при циклическом нагружении в реальном времени, является метод акустической эмиссии (АЭ).

Учитывая все возрастающее применение перспективных алюминиевых сплавов, в статье будут проанализированы и идентифицированы процессы, происходящие в данных конструкционных материалах при циклическом нагружении.

### **Эволюция структуры алюминиевых сплавов при механическом нагружении**

Акустическая эмиссия возникает по мере приложения к конструкционному материалу нагружающей силы. На начальном этапе происходят смещения атомов и уплотнение несплошностей материала. Дальнейшая эволюция структуры для начальной стадии усталостных испытаний алюминиевых сплавов может развиваться по следующей схеме (рис. 1) [1, 2].

Изменение структуры алюминия и некоторых сплавов на его основе при малых пластических деформациях характеризуется хаотическим распределением дислокаций и дислокационных петель малого диаметра [3, 4].

Уже после небольшого числа циклов нагружений в субструктуре данных материалов присутствуют геликоидальные дислокации. Схематический тип субструктуры представлен на рис. 2, а, где наблюдаются дислокационные клубки.

При дальнейших испытаниях данных материалов при числе циклов более ста происходит замыкание клубков и формируется ячеистая субструктура (рис. 2, б) [5]. При этом ячеистая субструктура является существенно неоднородной. Большая часть дислокаций находится в стенках ячеек, а плотность дислокаций внутри ячеек в 10 раз [6] ниже. Поэтому ячеистая субструктура анизотропна. Дислокационные стенки ячеек под действием циклических нагрузок удлинены вдоль плотноупакованных направлений. В алюминии стенки ячеек состоят из провзаимодействовавших дислокаций, дислокационных петель. Разориентированная ячеистая или субзеренная субструктура [7] формируется при дальнейшем увеличении числа циклов, когда появляются разориентировки на границах ячеек.

Циклические нагрузки вызывают в алюминиевых сплавах локализации деформации и формирование полос устойчивой деформации или полос устойчивого скольжения. Полосы сдвига различаются по типу дефектной структуры внутри полос, масштабу (микро- и макрополосы), ориентировкам границ полос, местоположению в кристалле.

Полосы сдвига с лестничной структурой являются наиболее распространенными [1]. Они формируются в поликристаллах в условиях реализации множественного скольжения [1, 3, 5]. Совместно с полосами с лестничной структурой соседствуют полосы с ячеистой субструктурой [7, 8] (рис. 3, б).

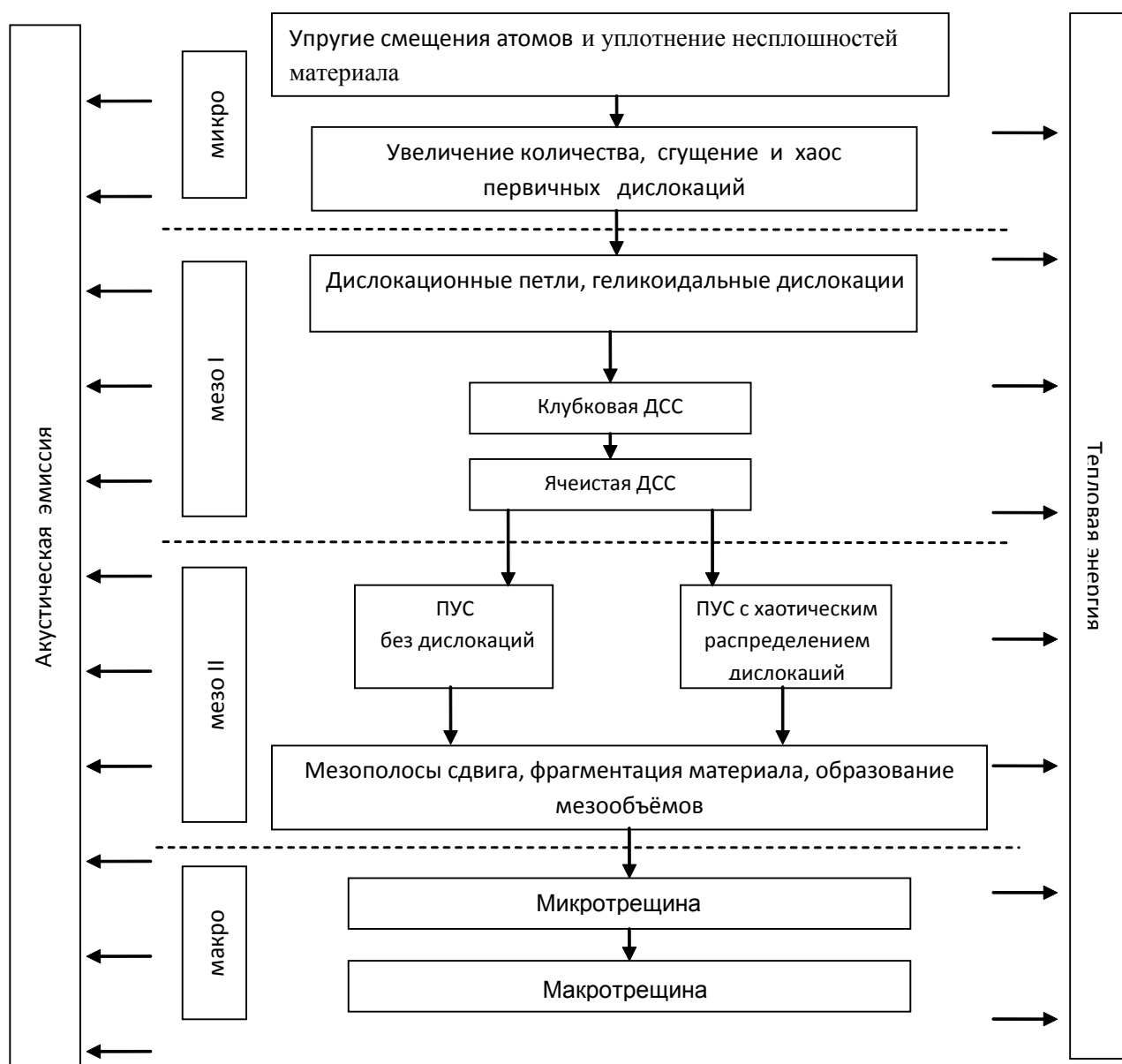


Рис. 1. Схема эволюции алюминиевых сплавов при циклических нагрузениях

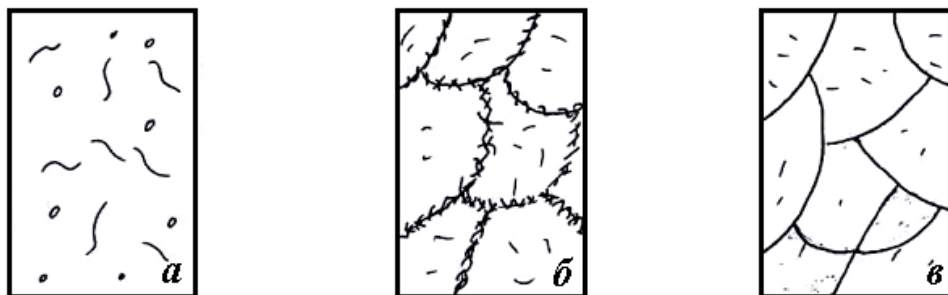


Рис. 2. Схематическое изображение дислокационных субструктур: хаотическое распределение дислокаций (а), ячеистая (б) и субзеренная (в) субструктуры [1]

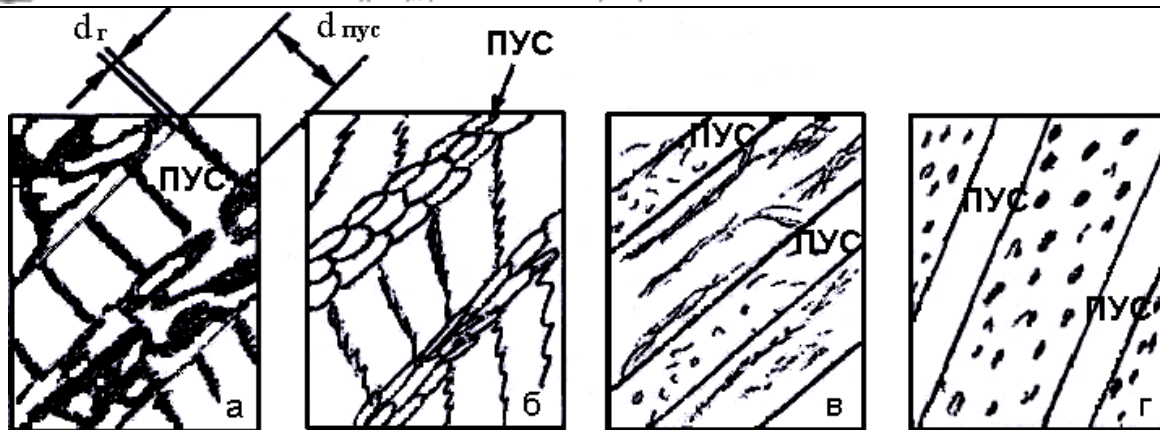


Рис. 3. Полосы устойчивого сдвига с лестничной (а), ячеистой (б), матричной или хаотической (в) субструктурами и полосы, не содержащие частиц второй фазы в дисперсно-упрочненном материале (г) [1]

Последовательность превращений дислокационных структур следующая: плоские скопления дислокаций преобразуются в мультиполи, затем образуется сетчатая слоевая субструктура, затем полосы устойчивого скольжения. Устойчивые полосы Чернова-Людерса состоят из плоских скоплений дислокаций, расположенных на параллельных друг другу первичных плоскостях скольжения. В начале циклических деформаций формируется неоднородность дислокационной структуры, которая развивается в ходе дальнейших испытаний в зависимости от условий нагружения.

Эволюция в дислокационной структуре, которая наблюдается в процессе циклических нагружений (фазовый переход в дефектной подсистеме), происходит при достижении критической плотности дислокаций. При этом прослеживается связь стадий кривой усталости (стадий деформации) и субструктурных превращений, что является общим свойством металлов и сплавов.

#### Акустическая эмиссия как метод идентификации процессов изменения структуры материалов

Акустический метод признается одним из прогрессивных для задач изучения физических процессов, протекающих в материале при механическом нагружении [9]. Наиболее популярными на сегодняшний момент и часто используемыми параметрами АЭ, применяемыми для изучения протекающих в нагружаемом материале процессов, являются: суммарный счет  $N_{АЭ}$  – число зарегистрированных превышений сигналом акустической эмиссии установленного уровня, скорость счета  $\dot{N}_{АЭ} = dN_{АЭ}/dt$ , амплитуда  $A$  сигнала и энергия  $E$  импульса АЭ.

Следует заметить, что суммарный счет  $N_{АЭ}$  является обобщающей количественной характеристикой, а амплитуда  $A$  и энергия  $E$  импульса АЭ хоть и являются качественными параметрами, но подвержены сильным систематическим погрешностям, которые на практике очень трудно устранить. Основной причиной погрешности является то, что акустическая эмиссия, порождаемая точечным источником внутри материала, представляет собой сферическую волну, а регистрирующая аппаратура фиксирует проекцию этой волны – плоское колебание поверхности образца, что приводит к значительному искажению формы первоначального импульса АЭ в зоне приема. При прохождении импульсов через первичный преобразователь и усилительный тракт с неидеальной полосой пропускания происходит еще большее искажение сигнала.

Определенную качественную оценку процессов деформации материала может дать анализ формы импульсов АЭ. Одним из методов анализа формы является частотное разложение. Поэтому традиционно АЭ, как и любой другой сигнал, зафиксированный электрон-

ными средствами измерений, стараются исследовать в частотной области с помощью Фурье-анализа. Однако регистрируемая при нагружении материалов АЭ представляет собой в значительной степени нестационарный сигнал – быстрозатухающие одиночные импульсы. Фурье-разложение для такого вида сигналов сопряжено с высокой степенью неопределенности (так называемое «растекание спектра») и обладает большой погрешностью, вызванной краевыми эффектами и маскировкой частот.

Широко зарекомендовавшее себя в последние годы для исследования нестационарных сигналов Wavelet-преобразование теоретически может справиться с задачей качественного анализа АЭ, но, во-первых, как абстрактный математический аппарат имеет слабый физический смысл применительно к процессам деформации материалов, а во-вторых, дает на выходе слишком много характеристик (массив коэффициентов), которые в большинстве случаев очень трудно интерпретировать.

Поэтому предлагается несколько иной подход к анализу сигналов АЭ, основанный на методах нелинейной динамики. В этой связи целесообразно рассматривать нагружаемый образец как нелинейную динамическую систему, состоящую из локальных областей (микро-, мезо- и макрообъемов), каждая из которых обладает конечным числом степеней свободы. Причем в результате последовательности бифуркаций (образование дислокации, прорыв скопления дислокаций через препятствие, образование микротрещин), вызванных внешним воздействием, количество степеней свободы отдельных локальных областей может ощутимо меняться. В этом случае регистрируемый сигнал АЭ представляет собой временной ряд, характеризующий эволюцию нелинейной системы образца в фазовом пространстве.

Как подтверждено многочисленными исследованиями [10], акустическая эмиссия наблюдается уже в области упругих деформаций при напряжениях от 0 до  $\sigma_T$ . Ее наличие связано, по-видимому, с образованием субмикротрещин и хрупким разрушением дисперсных включений. Во многих случаях АЭ, генерируемая при упругой деформации, обусловлена также растрескиванием вторичных фаз.

Основными же источниками АЭ при нагружении в макроупругой области вероятнее всего являются либо развитие несплошностей, либо протекание пластических деформаций в отдельных микрообъемах материала [10]. Акустическая эмиссия в этом случае возникает из-за того, что материал неоднороден, нагружен неравномерно и, хотя в целом процесс упругий, в отдельных его областях происходит пластическая деформация.

С точки зрения анализа, удобно разделить источники АЭ на несколько масштабов: микро-, мезо- и макроисточники, но не по линейным размерам, а по энергии их излучения. Исходя из величины энергии  $E$  излучения, микроисточниками АЭ при нагружении материала являются процессы срабатывания источника Франка-Рида, а также движения дислокаций ( $E = 10^{-23} \dots 10^{-21}$  Дж). Процессы образования микротрещин и растрескивания вторичных фаз бесспорно следует считать макроисточниками АЭ ( $E = 10^{-10} \dots 10^{-12}$  Дж). Также наблюдаются два промежуточных масштаба. Это мезоисточники 1-го уровня – процессы отрыва дислокаций от точек закрепления и торможения у препятствий ( $E \approx 10^{-19}$  Дж) и мезоисточники 2-го уровня – процессы выхода дислокации на поверхность зерен и их дальнейшей аннигиляции ( $E \approx 4 \cdot 10^{-18}$  Дж).

Нетрудно заметить, что масштаб энергии излучения источника АЭ взаимосвязан с его линейными размерами. Так, макроисточники АЭ являются макрообъектами с размерами, соизмеримыми с масштабом исследуемого образца, мезоисточники 2-го уровня действуют в масштабе зерен материала, мезоисточники 1-го уровня имеют размерный масштаб сгущения дислокаций (дислокационных структур), а микроисточники имеют линейные размеры того же порядка, что и межатомные расстояния кристаллической решетки.

Если учесть, что порог чувствительности современной аппаратуры регистрации АЭ составляет  $10^{-17}$  Дж, то простой расчет показывает, что в формировании каждого зарегистрированного аппаратурой импульса АЭ участвуют одновременно  $10^6$  микроисточников или 100 мезоисточников первого уровня или 5 мезоисточников второго уровня или 1 макроисточник.

Если рассматривать каждый зафиксированный сигнал АЭ как временной ряд, сгенерированный некой динамической системой, то, с точки зрения нелинейной динамики, такая задача сводится к определению степеней свободы динамической системы по одномерной проекции ее эволюций в фазовом пространстве. Причем каждый равномасштабный источник, участвующий в формировании импульса АЭ, рассматривается как отдельная степень свободы, а источники меньшего масштаба не учитываются в силу их существенно низкой (на несколько порядков) величины вклада в суммарную энергию сигнала.

Современные методы нелинейной динамики позволяют по одномерному временному ряду реконструировать многомерный аттрактор, метрические свойства которого очень близки к эволюциям исследуемой динамической системы [11]. При этом с большой степенью достоверности удастся определить размерность  $D_0$  фазового пространства исследуемого процесса, и, следовательно, количество  $m$  его степеней свободы. В качестве  $m$  берется ближайшее к  $D_0$  целое число при  $m \leq D_0$ .

Наряду с размерностью  $D_0$  Хаусдорфа–Безиковича во фрактальном анализе используют ряд других характеристик – информационную размерность  $D_1$ , корреляционную размерность  $D_2$  и т.д. Но для большинства задач нелинейной динамики эти размерности очень близки по значению [12], расхождения между  $D_0$ ,  $D_1$  и  $D_2$  не превышают 2 %. Поэтому для практических целей можно пользоваться приближенным равенством  $D_0 \approx D_2$ .

Наиболее быстрым и простым алгоритмом вычисления фрактальных характеристик, на наш взгляд, является расчет корреляционной фрактальной размерности  $D_2$  методом Грасберга-Прокаччия [13].

Вычисление производится следующим образом. Представим сигнал АЭ в виде последовательности мгновенных значений магнитуды  $M_i$  в конечных значениях времени  $t_i$ . Для любой произвольной точки  $M_i$  подсчитаем число точек, отстоящих от нее на расстояние, не превышающее некоторую величину  $\varepsilon$ , и повторим эту процедуру для всех точек сигнала. В результате мы вычислим корреляционную функцию:

$$C(\varepsilon) = \frac{1}{N} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \Theta(\varepsilon - |m_i - m_j|),$$

где  $\Theta(r)$  – функция Хевисайда:  $\Theta(r) = \begin{cases} 0 & r \leq 0 \\ 1 & r > 0 \end{cases}$ .

Данная функция представляет собой оценку вероятности того, что любые две точки  $M_i$  и  $M_j$ , случайным образом выбранные из исследуемого временного ряда, окажутся на расстоянии, меньшем  $\varepsilon$ . При бесконечно малом  $\varepsilon \rightarrow 0$  выполняется соотношение  $C(\varepsilon) \approx A\varepsilon^{D_2}$ .

Следовательно, корреляционную размерность  $D_2$  можно определить как наклон линейного участка графика зависимости  $\log C(\varepsilon)$  от  $\log(\varepsilon)$ .

### Эксперименты и их обсуждение

Эксперименты выполнены на образцах из деформируемого алюминиевого сплава марки Д20 по методике авторов, на испытательном стенде, описанном в [15].

Фрактальные характеристики реконструированного по сигналу АЭ аттрактора вычислялись с помощью программного пакета *TISEAN 3.0.1* (R. Hegger, H. Kantz и T. Schreiber) [16, 17]. Корреляционные размерности вычислялись следующим образом. Сначала с помощью программы *d2.exe*, входящей в пакет *TISEAN*, вычислялись корреляционные суммы. В параметрах программы указывались опции приведения исходных данных к интервалу  $\{0,1\}$  и задавался переменный лаг  $\tau$ . Сформированные программой графики Раппа (файлы с расширением \*.d2) использовались для вычисления величины  $D_2$ . Так как определение наиболее протяженного линейного участка локальных наклонов по графику Раппа является достаточно трудоемким, то величину  $D_2$  рассчитывали как среднее значение.

Для каждого сигнала АЭ был реконструирован аттрактор и вычислена его фрактальная размерность  $D_{2 \text{ аттр}}$  (рис. 4, и, к). Размерность  $D_{emb}$  лагового пространства для реконструкции аттрактора было принято равным 512. Для этого фазового пространства вычисляли величины корреляционной размерности  $D_2(\tau)$  для переменного лага, принимающего значения  $\tau_i = 1, 2, \dots, \tau_{\max}$ , где  $\tau_{\max} = N / D_{emb} = 32$ . В качестве фрактальной размерности реконструированного аттрактора  $D_{2 \text{ аттр}}$  принималось максимальное из полученных значений  $D_{2 \text{ аттр}}(\tau_i)$ .

Согласно теории [11], используемые нами параметры реконструкции аттрактора ( $D_{emb} = 512$  и  $\tau = 1, 2, \dots, 32$ ) позволяют оценить количество  $m$  степеней свободы процессов, породивших импульс АЭ, в диапазоне от 1 до  $(D_{emb} - 1) / 2 = 255$  ( $1 \leq m \leq 255$ ).

В соответствии с предложенной нами гипотезой отнесем источники АЭ, обладающие  $m = 1 \dots 6$  степенями свободы (и фрактальной размерностью аттрактора  $1 \leq D_{2 \text{ аттр}} \leq 6$ ), к макромасштабу и будем их ассоциировать с макродефектами материала и включения вторичных фаз.

Источники сигналов, реконструкция аттрактора которых дает величину  $6 < D_{2 \text{ аттр}} \leq 40$  ( $m = 7 \dots 40$  степеней свободы), классифицируем как выход группы  $m$  дислокаций на поверхность (мезомасштаб). Источники, для которых  $40 < D_{2 \text{ аттр}} \leq 160$ , то есть обладающие  $m = 41 \dots 160$  степенями свободы, с большой долей вероятности можно классифицировать как прорыв группы  $m$  дислокаций через препятствие или их резкое торможение у препятствия (тоже мезомасштаб, но на порядок меньше предыдущего).

И, наконец, все источники АЭ с  $m > 160$  ( $D_{2 \text{ аттр}} > 160$ ) будем рассматривать как движение крупного сгущения, состоящего из  $m$  дислокаций, или одновременную работу  $m / 100$  источников Франка-Рида, то есть как микроисточники.

Рассмотрим динамику распределения источников АЭ по масштабам в зависимости от количества предшествующих циклов нагружения (рис. 4). Так, при первоначальном нагружении образца (рис. 4, а, б) при его упругой деформации фиксируются сигналы практически только от *макроисточников* (зона I) – происходит выравнивание локальных концентраций напряжений вблизи макродефектов и разрушение примесных включений.

При дальнейшем нагружении (рис. 4, в, г) в образце начинают преобладать *микроисточники* АЭ (зона IV), то есть начинают работать источники дислокаций, происходит массовое движение разрозненных дислокаций и концентрация их у препятствий.

При первом цикле разгрузки (рис. 4, д, е) движение одиночных дислокаций становится менее активным и появляются *мезоисточники* АЭ масштаба 2 (зона III). То есть ощутимая часть дислокаций сконцентрирована в скопления и движется уже не свободно, а прорывается группами через препятствия и останавливается возле следующего препятствия.

Во время повторного цикла нагружения (рис. 4, ж, з) макроисточники себя практически не проявляют, но увеличивается число мезоисточников масштаба 1 (зона II). То есть концентрация дислокаций внутри зерен становится высокой, и дислокации начинают выходить на поверхность.

На третьем цикле нагружения (рис. 4 и, к) наблюдается большое количество мезоисточников масштаба 2, что, по всей видимости, означает интенсивный выход дислокаций на поверхность зерен. Это, в свою очередь, приводит к накоплению микродефектов на границах зерен и зарождению трещин.

И непосредственно перед разрушением образца (рис. 4 и, к) сигнал АЭ содержит импульсы, порожденные в основном развивающимися трещинами (макроисточники в зоне I) и интенсивной работой источников дислокаций (зона IV) в областях материала, подвергающихся необратимым пластическим деформациям.

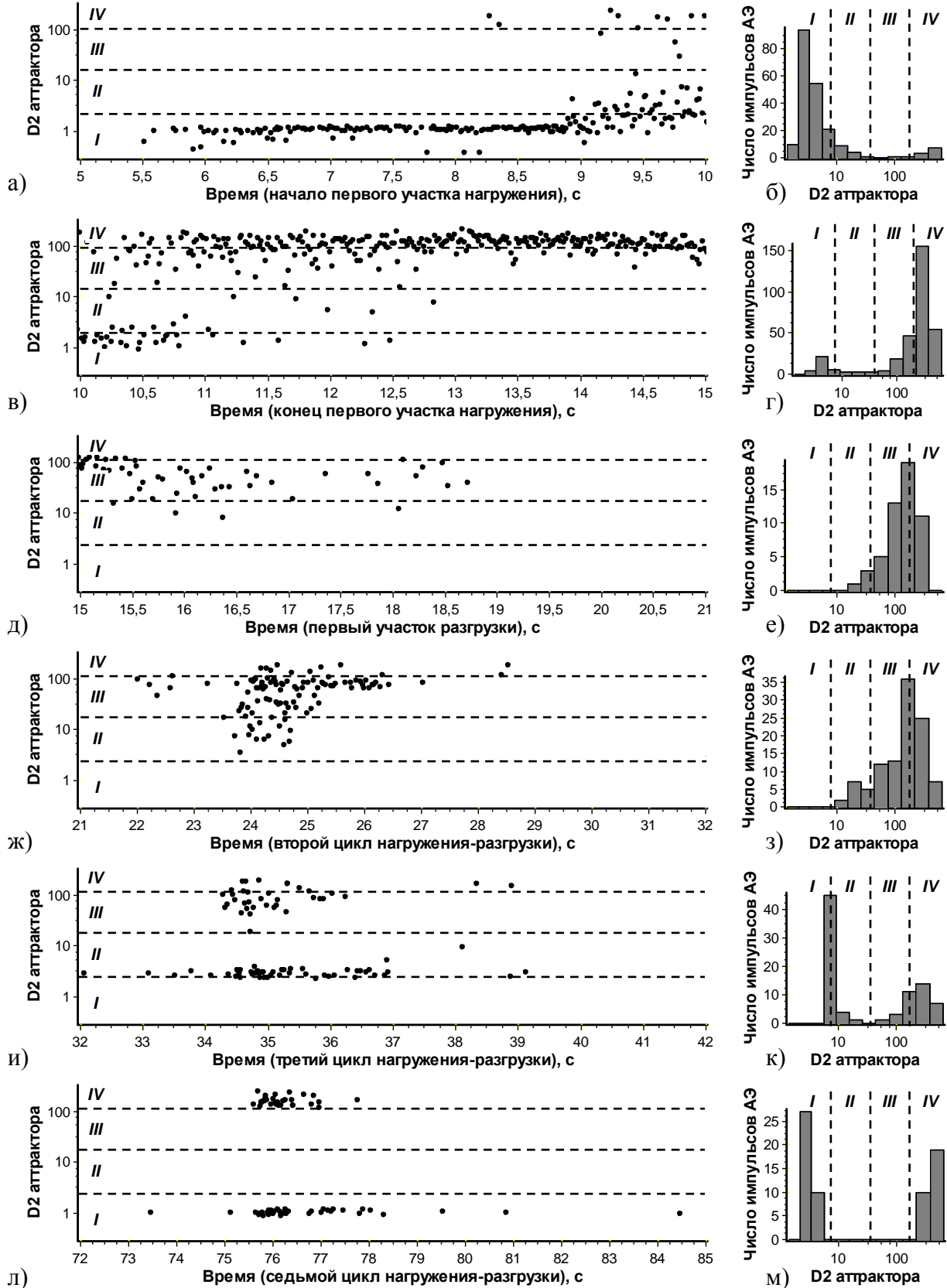


Рис. 4. Динамика распределения масштаба источников АЭ в зависимости от количества предшествующих циклов нагружения: *I* – зона макроисточников АЭ, *II* – мезоисточники масштаба 2, *III* – мезоисточники масштаба 1, *IV* – микроисточники

### **Заключение**

Таким образом, возможность идентификации процессов, происходящих в нагружаемом образце, с помощью фрактального анализа акустической эмиссии нашла экспериментальное подтверждение. Предложенная методика дает возможность избирательно исследовать акустическими методами процессы, происходящие на макро-, мезо- или микроуровнях деформируемого материала и открывает широкие перспективы для создания методик достоверного прогнозирования длительной прочности деталей машин и элементов строительных конструкций.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дислокационные субструктуры и их трансформация при усталостном нагружении (обзор) / Н. А. Конева, Л. И. Тришкина, О. В. Соснин, В. В. Целермаер, В. В. Коваленко // Известия ВУЗов. Физика. – 2002. – Вып. 3. – № 3. – С. 87-98.
2. Сысоев, О. Е. Прогнозирование состояния структуры материалов при циклических нагружениях по сигналам акустической эмиссии / О. Е. Сысоев, XuYafen // Металлургия в машиностроении. – 2011. – № 5. – С. 17-21.
3. Grinberg N. M., Serdyuk V. A., Gavriyako A. M., Macro- and Microrate of Fatigue Crack Growth in AMg6 Aluminum Alloy in Vacuum // Mat. Sci. and Eng. – 1991. – V.A138. – P.49-61.
4. Nahm A. H., Moteff J. The effect of grain size and deformation on mechanical properties of polycrystalline aluminium // Met Trans. A. – 1981. – V.12A. – P. 1011-1025.
5. Закономерности деформирования и эволюции ячеистой дислокационной субструктуры ГЦК-металлов и однофазных твердых растворов и их количественная оценка / Н. А. Конева, Д. А. Лычинский, В. А. Старенченко, Э. В. Козлов // Деформация и разрушение материалов. – 2006. – № 9. – С. 24-32.
6. Mitchell A. B., Teer D. C. Dislocation structures in aluminum crystals. fatigue in different orientations//Phil Mag. – 1970. – V.22. – No.176. – P. 399-417.
7. Boyapati K. and Polmear I.J. Large strain work hardening and textures // Proc. 5th Int. Conf. on the Strength of Metals and Alloys, Aachen, August 1979. – Oxford: Pergamon Press, 1980. – V.2. – P. 1231-1236.
8. Holden J. Continuous observation of dynamic behaviors of dislocations in aluminium // Phil. Mag. – 1961. – V.6. – No.64. – P. 547-558.
9. Терентьев, В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов : моногр. / В. Ф. Терентьев. – М. : Интермет Инжиниринг, 2002. – 288 с.
10. К вопросу о регистрации эмиссии в пределах упругой деформации / Ю. И. Болотин, В. В. Романов, Б. П. Буров, В. И. Архипов, Ю. Е. Савченко // Тез. докладов VIII Всесоюзной научно-технической конференции по неразрушающим физическим методам и средствам контроля. – Кишинев, 1977. – С. 511-514.
11. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence// Dynamical Systems and Turbulence. Under edit. D.A. Rand and L.S. Young. Warwick 1980, Lecture Notes in Mathematics, 898, Springer, Berlin, 1981. P. 366-381.
12. H. D. I. Abarbanel, Analysis of Observed Chaotic Data // Springer, New York, 1996.
13. Grassberger P., Procaccia I. // Physical Review Letters. – 1983. – Vol.50. – P. 346-349.
14. Плотников В. А. Акустическая эмиссия и деформационные процессы в алюминии при высоких температурах / В. А. Плотников, С. В. Макаров // Изв. вузов. Физика. – 2005. – № 11. – С. 33-38.
15. Современные испытательные стенды для исследования конструкционных материалов при малоцикловых нагрузках в условиях сложного напряженного состояния с учетом параметров акустической эмиссии / О. Е. Сысоев, Е. А. Кузнецов, В. В. Куриный, Р. В. Шпорт // Ученые записки КНАГТУ. – 2012. – № I-1(9). – С. 106-112.
16. Hegger R., Kantz H. and Schreiber T. Practical Implementation of Nonlinear Time Series Methods // The TISEAN package, CHAOS 9, 1999.
17. TISEAN. Nonlinear Time Series Analysis. Адрес в Интернет: <http://www.mpi-pks-dresden.mpg.de/~tisean/>

ХРОНИКА НАУЧНОЙ ЖИЗНИ  
CHRONICLE OF SCIENTIFIC LIFE

**Башков О. В., Башкова Т. И.**  
**O.V. Bashkov, T.I. Bashkova**

**ВСЕМИРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРОХОДИВШАЯ В ПЕКИНЕ С 24 ПО 26 АВГУСТА 2011 г. И СОСТОЯНИЕ МИРОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**WORLD CONFERENCE ON ACOUSTIC EMISSION, BEIJING 2011 AUGUST 24 - 26, AND STATE-OF-THE-ART RESEARCH IN THE FIELD OF ACOUSTIC EMISSION**

**Башков Олег Викторович** – кандидат технических наук, доцент, начальник Центра коллективного пользования Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; (4217)241107. E-mail: bashkov\_ov@mail.ru

**Mr. Oleg V. Bashkov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Shared Centre of KnASTU, 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenina St., tel.: (4217) 241107. E-mail: bashkov\_ov@mail.ru

**Башкова Татьяна Игоревна** – кандидат технических наук, доцент, начальник Отдела защиты интеллектуальной собственности Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; (4217)241107. E-mail: bashkov\_ov@mail.ru

**Ms. Tatiana I. Bashkova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Intellectual Property Protection Centre, KnASTU, 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenina St., tel.: (4217) 241107. E-mail: bashkov\_ov@mail.ru

С 24 по 26 августа 2011 г. в Пекине проходила Всемирная конференция по акустической эмиссии (WCAE 2011). В конференции принимали участие ведущие специалисты и ученые в области акустической эмиссии из 19 стран, в том числе представители из России: сотрудники Тольяттинского государственного университета, сотрудники Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета и представители фирмы по выпуску акустико-эмиссионного оборудования ООО «Интерюнис». Общее число участников превысило 160 человек. На конференции были представлены доклады ведущих ученых из более чем 30 университетов, научно-исследовательских центров и коммерческих организаций со всего мира.

**Немного истории.** Открытый в 20-х гг. XX столетия А.Ф. Иоффе эффект излучения звуковых волн в цинке получил название акустическая эмиссия. В начале 1950-х гг. Джозеф Кайзер и его коллеги (Германия) опубликовали первые систематические исследования по акустической эмиссии. Что же такое акустическая эмиссия?

Акустическая эмиссия (АЭ) – это излучение упругих волн, возникающее в результате локальной динамической перестройки в структуре материала при его нагружении. Таким образом, любое движение и развитие дефектов в процессе какого-либо нагружения материала может быть зарегистрировано. Эта особенность активно используется учеными и практиками при диагностике и неразрушающем контроле в процессе эксплуатации изделий и конструкций в условиях реальных нагрузок. Преимущество данного метода над всеми другими заключается в возможности охвата объекта контроля в целом в процессе диагностики и отсутствии необходимости его вывода из эксплуатации, то есть мониторинг технического состояния. Это значительно сокращает объем проводимой при обследовании работы, увеличивая эффективность обнаружения дефектов и отслеживая лишь опасные развивающиеся дефекты. В России постоянному мониторингу с использованием АЭ подвергаются лишь объекты особой опасности, такие как атомные станции. За рубежом метод АЭ активно применяется при периодическом контроле нефтяных и других танкеров, резервуаров для хранения нефтепро-

**Башков О. В., Башкова Т. И.**

ВСЕМИРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРОХОДИВШАЯ В ПЕКИНЕ  
С 24 ПО 26 АВГУСТА 2011 г. И СОСТОЯНИЕ МИРОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

дуктов, кислот и других жидкостей и газов, трубопроводов и сосудов высокого давления, а также конструкций авиационной и космической промышленности.



На церемонии открытия конференции

В настоящее время в мире действует несколько рабочих групп, объединяющих вокруг себя научные коллективы из различных организаций и университетов, ведущих работу по развитию АЭ и ее внедрению в различные сферы. Ежегодно рабочими группами под руководством ведущих ученых проводятся научно-технические семинары, симпозиумы и конгрессы по акустической эмиссии. Основные периодически действующие симпозиумы географически распределились по месту расположения и работы ведущих научных групп:

1. International Acoustic Emission Symposium (IAES) организован Японским комитетом по акустической эмиссии (Japanese Committee on Acoustic Emission (JCAE)) под руководством известного в области АЭ японского ученого Канджи Оно. Очередной 20-й (IAES-20) симпозиум проводился в г. Кумамото (Япония) в 2010 г.

2. Acoustic emission working group (AEWG) организован научной исследовательской группой в США под руководством Алена Грина и Джека Спаннера в 1967 г. Очередной AEWG-54 будет проходить в г. Принстон (США).

3. European Working Group on Acoustic Emission организован в 1972 г. группой ученых Кембриджского университета в Англии под руководством Адриана Поллока и Гарольда Данегана, организовавшего впоследствии Dunegan Research Corporation и на его базе Physical Acoustic Corporation. Очередная 30-я конференция EWGAE-30 будет проходить в Гранаде (Испания).

В России на настоящий момент действуют несколько научных школ в области АЭ. Первые систематизированные сведения об АЭ в СССР были опубликованы В.А. Грешниковым и Ю.Б. Дроботом в книге «Акустическая эмиссия» в 1976 г. Учитывая большой научный потенциал, АЭ как метод диагностики состояния конструкций и инструмент для исследования структурного поведения материалов при нагружении находит применение во все больших направлениях науки и техники.

Первая в Китае конференция по акустической эмиссии прошла при поддержке Китайского комитета по акустической эмиссии с приглашением всех ведущих специалистов и ученых рабочих научных групп из разных стран мира. Целью конференции являлись обмен опытом ученых и их объединение с представителями бизнеса в области современных научных достижений и практического применения в науке и технике акустической эмиссии. На конференции были представлены доклады ученых и представителей бизнеса по направлению АЭ. Научные доклады были посвящены современным достижениям науки в области АЭ. Бы-

ли рассмотрены вопросы исследования свойств и поведения материалов в условиях различных способов нагружения, включая термическое нагружение.

Ряд докладов был посвящен исследованию природы АЭ и особенностей возникновения АЭ при пластической деформации, образовании трещин, трении, истечении жидкости. Одной из важнейших проблем, решаемых ученым на сегодняшний день, является однозначная достоверная идентификация источников АЭ при соотнесении их с регистрируемыми сигналами АЭ. Учеными-практиками были предложены на обсуждение оригинальные области использования АЭ, в которых АЭ ранее не применялась, с представлением результатов исследований. К таким исследованиям можно отнести:

1. Исследование поврежденности кабелей высокоответственных вычислительных машин.
2. Определение периодичности поливки виноградников по степени высыхания листьев, используемое в системе поливки виноградников.
3. Диагностика состояния памятников архитектуры: замков, статуй, картин.

Также были представлены доклады по тематике исследования свойств и поведения при деформации и разрушении разрабатываемых новых конструкционных материалов и материалов с покрытиями.



На церемонии закрытия конференции: Е. Мерсон (Россия), А. Лазарев (Россия), Т. Башкова (Россия), О. Башков (Россия), С. Мухопадия (Индия), Х. Вален (Германия), А. Санчес (Испания), А. Галлего (Испания), С. Страгнефорс (Казахстан), Б. Муравин (Израиль), Д. Вей (Гана)

Другое направление, активно обсуждаемое на Всемирной конференции по АЭ, было посвящено использованию АЭ в диагностике конструкций и инженерных сооружений. Основным потребителем услуг в области применения неразрушающего контроля является нефтегазовая промышленность. АЭ диагностика здесь не исключение. Однако и другие важные сферы нашли возможность внедрения АЭ и были освещены в рамках докладов на конференции. Это строительство и эксплуатация мостов, зданий, испытание и эксплуатация элементов летательных аппаратов, строительство и диагностика состояния судового транспорта, диагностика подвижного транспорта (автомобильного, железнодорожного). Представители различных международных компаний по неразрушающему контролю передавали в докладах и при их обсуждении свой опыт проведения диагностических работ на различных объектах и технических устройствах повышенной эксплуатационной опасности. В работах

также обсуждались очень важные при АЭ диагностике вопросы борьбы с шумами, правильного разделения сигналов по типам источников, применения различных параметров АЭ для установления достоверных критериев диагностики состояния и прогнозирования поведения устройств.

Третьим, не менее важным, направлением работы конференции было представление и обсуждение новых разработок АЭ-систем, используемых для регистрации и анализа сигналов АЭ. Среди основных разработчиков, имеющих мировую известность и зарекомендовавших себя на рынке АЭ оборудования, можно выделить фирмы, представившие свое оборудование и доклады в области разработки АЭ-систем. Россия была представлена разработками фирмы ООО «Интерюнис», занимающейся изготовлением регистрирующей АЭ аппаратуры более 10 лет. Основными зарубежными производителями АЭ-систем являются Vallen System GmbH (Германия) и Physical Acoustics Corporation – PAC (США). С недавнего времени активные разработки в области создания АЭ оборудования начались в Китае. На конференции были представлены АЭ-системы китайской фирмы Soundwel, занимающейся изготовлением ультразвуковых и АЭ приборов диагностики.

Необходимо отметить, что, несмотря на небольшое число докладов, представленных на конференции со стороны российских представителей науки и производителей АЭ оборудования, вклад российских ученых в мировое развитие АЭ достаточно велик. Зарубежные ученые, имеющие доступ к российским изданиям, признают высокий уровень развития науки и практических достижений в области АЭ. Также признается высокий уровень публикаций и систематизированных научных изданий, включая обзоры и публикации на иностранном языке. Сотрудники КнАГТУ доценты кафедры «Материаловедение и технологии новых материалов» О.В. Башков и Т.И. Башкова представили на конференции некоторые разделы своей научной работы в области исследования кинетики деформации и фазовых переходов в металлах и сплавах методом АЭ. В КнАГТУ акустическая эмиссия как метод исследования кинетики накопления повреждений в материалах развивается на протяжении более чем 20 лет. Большой вклад в его развитие в КнАГТУ внес доктор технических наук, профессор Н.А. Семашко. Его ученики продолжают начатое дело и выступают уже руководителями различных научных направлений в области АЭ. Основными направлениями научной деятельности, развиваемой в КнАГТУ с использованием АЭ, являются:

- исследование кинетики накопления повреждений при деформации и разрушении материалов;
- исследование фазовых переходов в металлах и сплавах, включая плавление и кристаллизацию;
- идентификация источников АЭ и разработка новых критериев оценки и прогнозирования параметров деформации и разрушения материалов;
- разработка и исследование качества покрытий;
- разработка АЭ-систем для научных исследований и диагностических мероприятий.

Обмен опытом и полученная на конференции научная информация о современных достижениях и существующих проблемах в области АЭ показали высокий уровень разработок, проводимых КнАГТУ, в том числе совместно с другими производственными, научными и учебными заведениями России и зарубежья. Обмен опытом с ведущими учеными зарубежных стран позволит в дальнейшем правильно расставить приоритеты ведущихся научных исследований и внедрения в производство инновационных разработок.