

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА AVIATION, ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

Цуй Сюй, Гусева Р. И., Чжан Линюни, Гао Юй
Cui Xu, R.I.Guseva, Zhang Lingyun, Gao Yu

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМ-ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

EFFECT OF VACUUM THERMO-CYCLING ON MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES



Цуй Сюй* – доцент, магистр технических наук, зам. декана факультета аэрокосмической техники Шэньянского авиакосмического университета, член важной лаборатории провинции Ляо Нин по разработанной технике КМ с передовыми полимерными матрицами (Китай). E-mail: cuixug@163.com.

Mr. Cui Xu* – Master of Engineering, Associate Professor, Deputy Dean of the Air-space Craft Department at Shenyang Aircraft Technical Institute, Liaoning Province, Member of the Advanced Polymer Matrix Composite Material Technology Laboratory, China. E-mail: cuixug@163.com.



Гусева Роза Ивановна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология самолетостроения», зам. декана самолетостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: r_guseva@knastu.ru.

Ms. R.I. Guseva – PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft Engineering Technology, Deputy Dean of the Aircraft Engineering at Komsomolsk-on-Amure State Technical University, Russia. E-mail: r_guseva@knastu.ru

Чжан Линюни – профессор Шэньянского авиационного технического института (Китай). E-mail: zhangly79@163.com.

Mr. Zhang Lingyun - Professor, Shenyang Aircraft Technical Institute, China. E-mail: zhangly79@163.com

Гао Юй – доцент Шэньянского авиационного технического института (Китай). E-mail: gaoyu1971@163.com.

Gao Yu - Associate Professor, Shenyang Aircraft Technical Institute, China. E-mail: gaoyu1971@163.com.

Аннотация. В статье исследуется влияние числа циклов вакуум-термоциклирования на прочность углеродного композиционного полимерного материала М40Ж/5228А (УКМ) при его растяжении, изгибе и сдвиге в условиях, имитирующих многократные полеты ЛА в космическом пространстве.

Summary. The vacuum thermo-cycling was performed on unidirectional M40J/5228A composites, and tensile strengths, bend strength and interlayer strength were examined after vacuum thermo-cycling for various cycles, thus emulating multiple flights of a spacecraft to the outer cosmic space.

Ключевые слова: эпоксидные композиционные материалы, вакуум-термоциклирование, механические характеристики.

Key words: epoxy composites, vacuum thermo-cycling, mechanical properties

УДК 629.735

* Статья новаторского ряда отдела образования провинции Ляо Нин Китая (2008Т149)
The Project is sponsored by "Liaoning BaiQianWan Talents Program" (2008921102)

При использовании углеродного волокна как наполнителя в эпоксидных композиционных материалах получают малую плотность композиционного материала, при этом повышаются удельная прочность и жесткость, улучшается качество материала и изделия. Если применить при формовании низкий вакуум, то стабилизируется коэффициент теплового расширения. Все эти явления обеспечивают УКМ широкое применение в космосе.

Углерод-эпоксидные композиционные материалы (УКМ) применяют в космических аппаратах в основном в качестве различных структурных частей, таких как части антенны, подложки массивов солнечных батарей, в трущихся деталях и подшипниках [1]. Космический аппарат, находясь на околоземной орбите и в затененных областях космоса, находится в нестабильных температурных режимах, повторяющихся неоднократно (диапазон изменения температур на поверхности аппарата лежит в пределах 113 – 393 К) [2].

В результате изделия из УКМ, применяемые на космическом аппарате, испытывают в полете многократные температурные перепады, т.е. нагрузки от циклического переменного температурного поля. Из-за разницы между коэффициентом теплового линейного расширения углеродного волокна и матрицы на порядок и более композит будет испытывать переменные тепловые удары и напряжения, что в результате приводит к разрушению УКМ и изменению его механических характеристик.

Кроме того, на космических орбитах давление газа менее 10^{-5} Па. Такой вакуум и многократные полеты приводят к потере массы полимерных композитов [3; 4; 5]. В научно-технической литературе имеются сведения, что вакуум-термоциклирование влияет на потерю массы и межслойные сдвиги для традиционных ПКМ и их компонентов [6; 7; 8; 9].

Исследования поведения полимерных композиционных материалов (ПКМ) при вакуум-термоциклировании имеют важное значение для обеспечения безопасного движения космических летательных аппаратов (КЛА) и увеличения их надежности и ресурса.

Эксперимент

Эпоксидная смола 5228А рассматривается как новый матричный материал в ПКМ, она имеет уникальные свойства по влагостойкости и жаростойкости [10], имеет хорошие перспективы применения в антеннах КЛА.

В настоящей работе реальные циклические космические полеты КЛА приравнены к условиям многократного вакуум-термоциклирования. Организации NASA, ESA и Китайская народная республика нормировали параметры вакуум-термоциклирования для космических аппаратов и их компонентов.

Для изготовления образцов выбраны углеродные волокна M40J и эпоксидные смолы 5228А.

Образцы изготавливались однонаправленными: одна партия с углом армирования 0° , вторая – с углом армирования 90° .

Кроме того, использовали углеродные волокна двух типов: без нанесения аппрета на поверхность волокна и с нанесенным аппретом. Размеры однонаправленного образца с углом армирования 0° и шириной 9 мм в рабочей части (для испытаний на растяжение) показаны на рис. 1.

Формование образца идет по ступенчатому циклу в автоклаве: полуфабрикаты образцов нагревали до температуры 130°C со скоростью $1,5 - 2,0^\circ/\text{мин}$, при достижении температуры 80°C включали давление $0,6 - 0,7$ МПа, выдерживали при этих параметрах 40 – 60 мин, затем продолжали нагрев со скоростью $1,5 - 2,0^\circ/\text{мин}$. При температуре 180°C выдерживали образцы 120 мин. Затем полученные образцы вынимали из автоклава и охлаждали до комнатной температуры. Часть образцов передавалась на статические испытания для определения исходной прочности на изгиб, растяжение и сдвиг.

Затем образцы проходили испытания на вакуум-термоциклирование, которое проводили в машине вакуум-термоциклирования GZKD-01. На рис. 2 в качестве примера представлена кривая изменения циклов вакуум-термоциклирования в зависимости от температуры и времени. Вакуум при испытаниях доведен до 10^{-5} Па.

Затем образцы испытывались на прочность для определения механических свойств образца. Испытания проводили в испытательной машине MTS810.

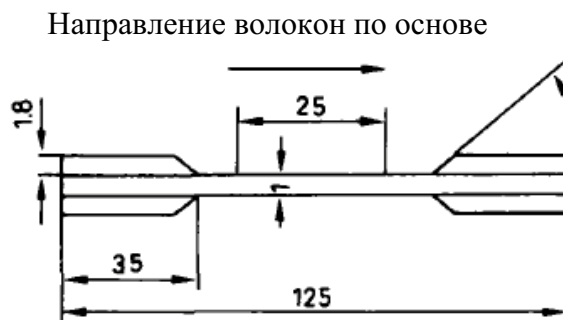


Рис. 1. Размеры образца на растяжение

Образцы на растяжение с углом армирования 90° в соответствии со стандартами выбраны длиной 125 мм, шириной 9 мм, толщиной 1 мм, длина рабочей зоны составляет 25 мм.

Испытания на растяжение проведены в соответствии с национальным стандартом КНР GB3354-82, испытание на изгиб – в соответствии с национальным стандартом КНР GB3356-82 и испытания на сдвиг – в соответствии с национальным стандартом КНР GB3357-82.

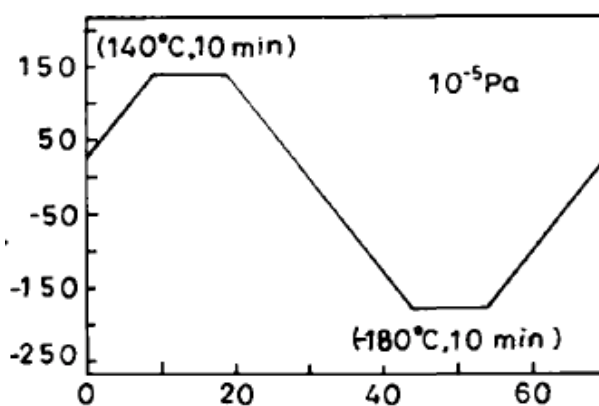


Рис. 2. Кривая изменения цикла вакуум-термоциклирования в зависимости от времени и температуры

Сечения образцов после разрушения на растяжение наблюдались на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-570.

Результаты эксперимента на растяжение

При испытании образцов, изготовленных с углом армирования 90° , выяснилось, что с увеличением числа циклов вакуум-термоциклирования прочность на разрыв уменьшается и при достижении 70 – 75 циклов и далее становится стабильной. Из рис. 3 следует, что снижение прочности σ_b находится в пределах 10 – 13 %.

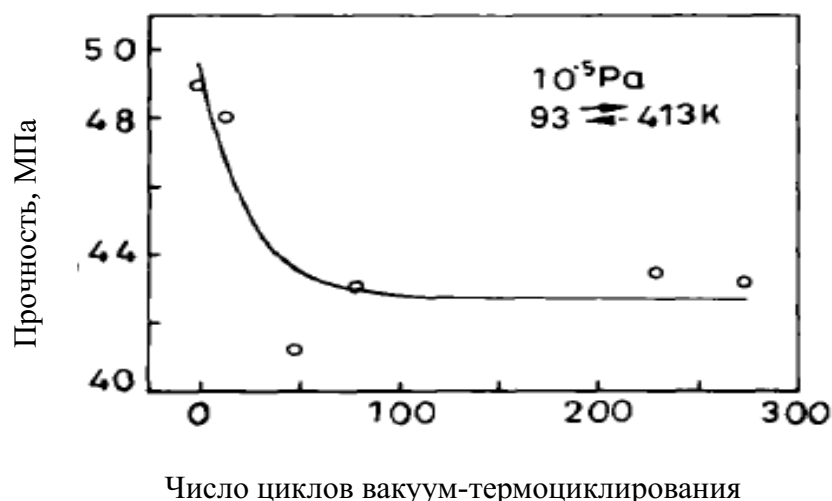


Рис. 3. Влияние циклов вакуум-термоциклирования на прочность композитных материалов М40J/5228А при растяжении с углом армирования 90°

Сканирование сечений (см. рис. 4) при разрушении композитных образцов М40J/5228А с углом армирования $\varphi = 90^\circ$ выявило, что разрушение проходит по двум формам – отслоения матрицы вдоль границы волокно-смола и разрывы самой смоляной композиции.

На рис. 4, а в части А можно наблюдать оголенную волокнистую поверхность; в части В можно наблюдать четкие продольные линии, которые являются следом от другого волокна; на части С видно, что волокно вообще обнажилось, на нем нет смоляной композиции; на части D можно наблюдать классические изломы при растяжении для матричных смол.

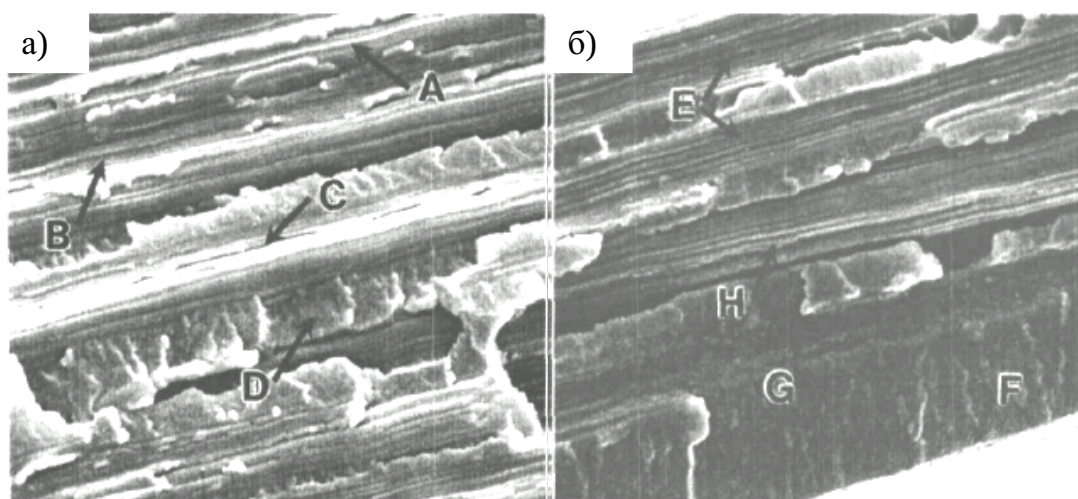


Рис. 4. Сканирующие электронные микрофотографии образцов М40J/5228А с углом армирования 90° , доведенных до разрушения

При сканировании неразрушенного образца на растяжение с углом армирования $\varphi = 90^\circ$ видно, что продольные углубления плавно распределены вдоль граничных слоев волокон, также наблюдаются продольные углубления и в матрице. При нагружении образцов через 48 циклов вакуум-термоциклирования произошли изломы волокна, некоторые волокна полностью обнажились (см. рис. 4, б, часть Е), на поверхности некоторых волокон нет смолы и вдоль рифтов также смола не наблюдается (см. рис. 4, б, часть H); на поверхности образцов

(см. рис. 4, б, части F, G) наблюдается концентрация смоляной композиции, появились изломы гладкой поверхности матрицы.

Анализ результатов эксперимента образцов с нулевым углом армирования $\varphi = 0^\circ$ при растяжении (см. рис. 5) показывает, что предел прочности таких образцов с увеличением числа циклов вакуум-термоциклирования уменьшается и при достижении 40 – 45 циклов, далее становится стабильным. Из рис. 5 следует, что снижение прочности σ_b находится в пределах 15 %.



Рис. 5. Изменение прочности образцов из М40J/5228А на разрыв при вакуум-термоциклировании

На рис. 6, а – б представлены микрофотографии сечения разрушенного образца на растяжение с углом армирования $\varphi = 0^\circ$, показывающие, что между волокнами практически нет смоляной композиции после испытаний, сцепление идет за счет плотности упаковки волокон и аппретов, нанесенных на поверхность волокон [11; 12; 13].

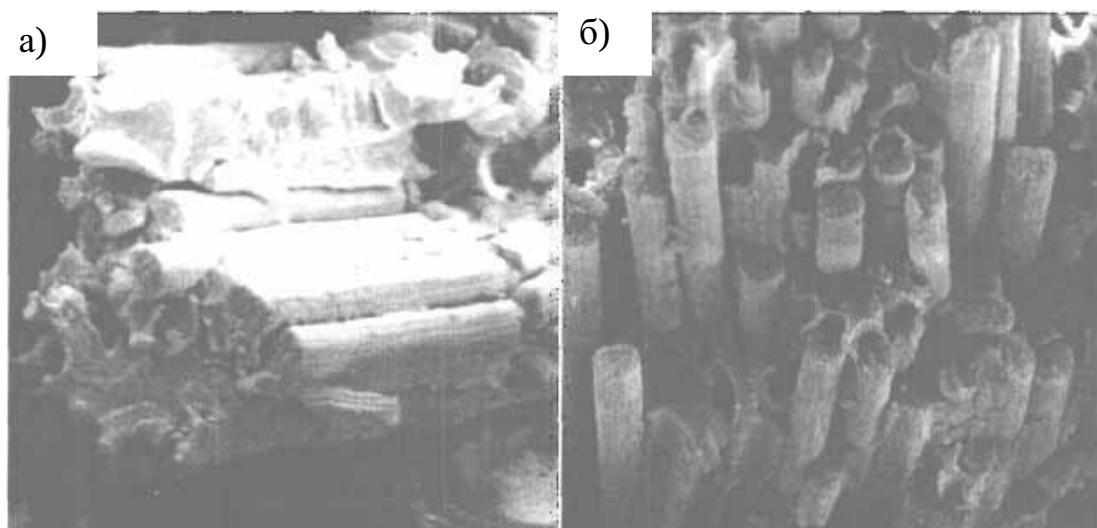


Рис. 6. Сканирующие электронные микрофотографии разрушенных образцов М40J/5228А на растяжение с $\varphi = 0^\circ$

Результаты эксперимента на изгиб

Обработка результатов испытаний образцов на изгиб после вакуум-термоциклирования представлена на рис. 7. С увеличением числа циклов вакуум-термоциклирования прочность на изгиб резко возрастает (через 40 – 50 циклов), затем при дальнейшем увеличении числа циклов прочность резко уменьшается, но при 97 и более циклов прочность практически стабилизируется и становится примерно в два раза выше исходной.

При испытаниях на изгиб напряженное состояние материала отличается от испытания на растяжение. При изгибе появляется недеформированный нейтральный слой, над нейтральным слоем – зона сжатия, под нейтральным слоем – зона растяжения (см. рис. 8).

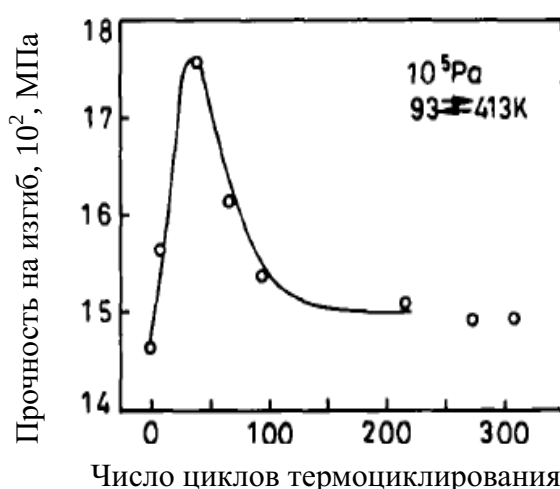


Рис. 7. Влияние числа циклов вакуум-термоциклирования на изгибные характеристики материала М40J/5228А

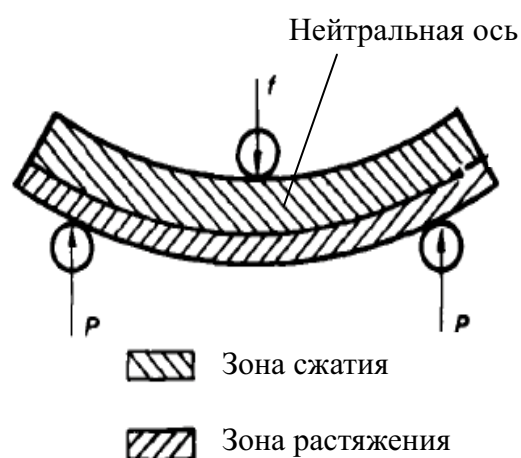


Рис. 8. Иллюстрация напряженного состояния при изгибе образцов

На рис. 9 представлены оптические микрофотографии образцов при испытаниях на изгиб.

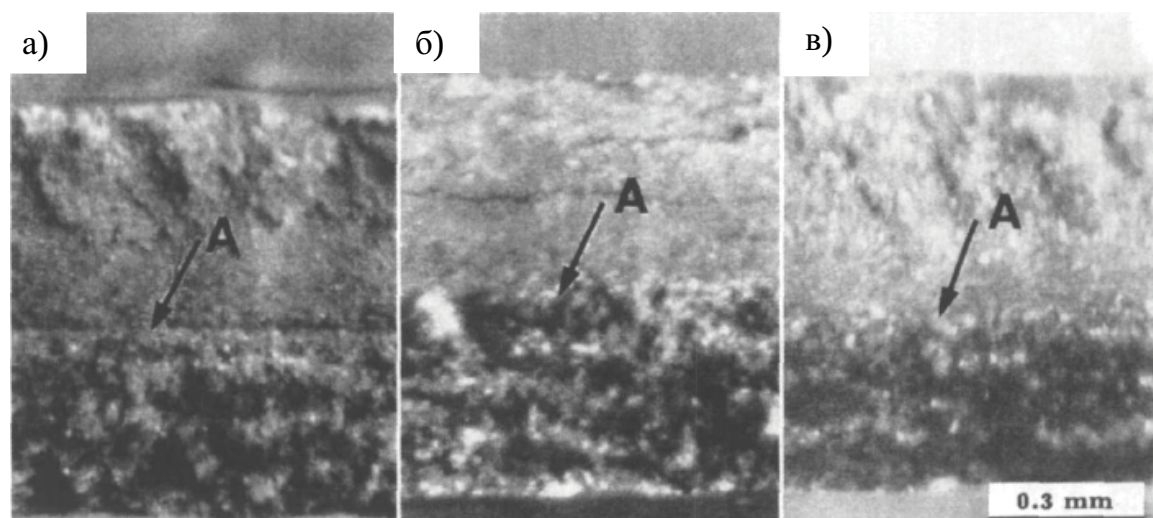


Рис. 9. Оптическая микрофотография образцов на изгиб при разрушении УКМ М40J/5228А: а – исходное состояние; б – состояние при 40 циклах

вакуум-термоциклирования; в – состояние при 95 циклах вакуум-термоциклирования

Из анализа фотографий следует, что нейтральный слой уже при 40 циклах вакуум-термоциклирования начинает разрушаться, а при 95 циклах – разрушен до 70 % от всей площади нейтральной поверхности. Причем зона сжатия разрастается по высоте.

Анализ испытаний образцов на изгибную прочность после вакуум-термоциклирования показывает, что нейтральный слой можно принять за интерфазу [14].

Результаты эксперимента на сдвиг

При испытании образцов на сдвиг, прошедших вакуум-термоциклирование, выявлено, что с возрастанием числа циклов прочность увеличивается, причем чем больше циклов, тем больше прочность: при увеличении числа циклов вакуум-термоциклирования до 9 прочность резко возрастает (примерно на 7 – 10 %). При дальнейшем увеличении числа циклов вакуум-термоциклирования до 95 прочность на сдвиг начинает возрастать постепенно (примерно на 5 – 7 %) и после 95 – 100 циклов становится стабильной и выше исходной (см. рис. 10).

Анализируя рис. 10, можно сделать вывод, что вакуум-термоциклирование повышает прочность межслоевого сдвига примерно на 10 %.

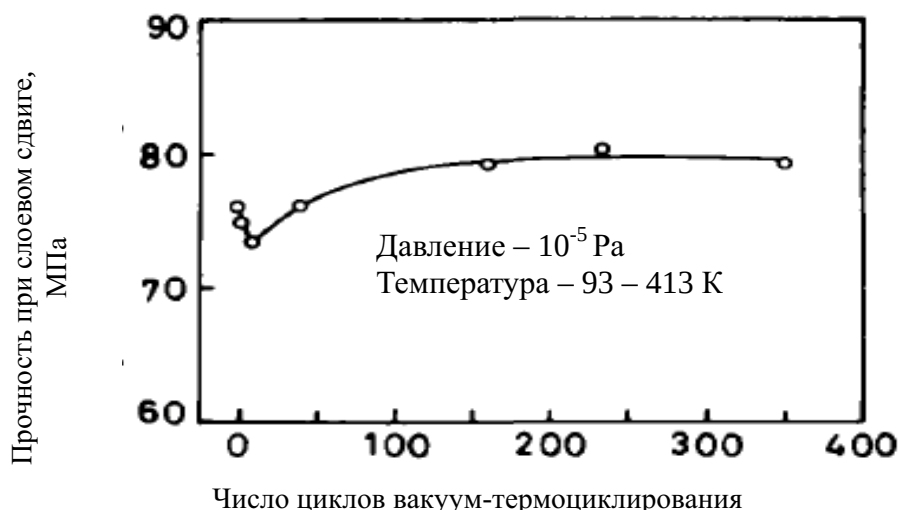


Рис. 10. Зависимость прочности межслойного сдвига УКМ М40J/5228А от числа циклов вакуум-термоциклирования

Кроме того, были сделаны выводы, что прочность на сдвиг композитного полимерного материала УКМ М40J/5228А в основном определяют нанесенные аппреты (образуя интерфейсные, межфазовые поверхности).

Выводы по работе

Испытания образцов из композитного полимерного материала УКМ М40J/5228А на прочность при растяжении, изгибе и сдвиге после вакуум-термоциклирования, параметры которого реализуют условия космической среды, показали, что:

1. С увеличением числа циклов вакуум-термоциклирования прочность на разрыв у об-

разцов с углами армирования 90° и 0° уменьшилась незначительно (примерно на 12 – 13 %), при дальнейшем увеличении числа циклов до 40 – 48 и далее – становится стабильной и меньшей на 12 – 13 %, чем исходная прочность. Дальнейшее увеличение числа циклов вакуум-термоциклирования не оказывает влияния на прочность при растяжении.

2. При испытаниях на изгиб после первых циклов вакуум-термоциклирования прочность на изгиб образцов вначале резко возрастает (примерно на 20 %); затем при числе циклов 48 – 50 прочность на изгиб резко падает, при дальнейшем увеличении числа циклов до 97 – 100 прочность продолжает уменьшаться, но не становится меньше исходной прочности (возрастает на 3 – 5 %).

3. При испытаниях образцов на сдвиг, прошедших вакуум-термоциклирование, выявлено, что при начальном увеличении числа циклов прочность на сдвиг резко возрастает примерно на 7 – 10 %.

При дальнейшем увеличении числа циклов до 100 и более прочность на сдвиг продолжает возрастать (примерно на 5 – 7 % по сравнению с исходной прочностью на сдвиг) и после 150 циклов становится стабильной и выше, чем исходная прочность.

4. Механические характеристики материала УКМ М40J/5228А практически не изменяют своих значений, а в некоторых случаях (при изгибе и сдвиге) даже становятся выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. XIAO Shaobo, LIU Zhixiong. Aerospace Materials and Technology, 1993 (4):95-98.
2. LI Chundong, YANG Dezhuang, HE Shiyu. Ghinese Journal of Materials Research, 2003(4):112-116.
3. JIANG Lixiang, HE Shiyu, YANG Dezhuang. Chinese Journal of Materials Research, 2003 (4):56-61.
4. R.S.Sperber, AIAA-90-0781, (1990).
5. J.Dauphin, Vacuum, 32(10/11), 669(1982).
6. Toshiyuki Shimokawa, Hisaya Katoh, Yasumasa Hamaguchi, Shigeo Sanbongi, Hiroshi Mizuno, Journal of Composite Materials, 7, 885(2002).
7. Hancox L. Thermal Cycling Materials & Design, 19, 85(1998).
8. Satoshi Kobayashi, Kazuhiro Terada, Shinji Ogihara, Nobuo Takeda, Composites Science and Technology, 61, 1735(2001).
9. Kwang-Bok Shin, Chun-Gon Kim, Chang-Sun Hong, Ho-Hyung Lee, Composites Part B: Engineering, 31,223(2000).
10. LI Zhijun, LI Xuecheng, BAO Jianwen, CHENG Xiangbao, Journal of Materials Engineering, 1999 (10):78-95.
11. Miller A. G., Wingert A. L. Fracture Surface characterization of Commercial Graphite/Epoxy Systems, in: Fractography of Modern Engineering Materials, STP 948(ASTM, PA, 1987). – P. 154.
12. Purslow D. Composites, 241, 10(1981).
13. Grove R. A., Smith B. W. Compendium of Post-Failure Analysis Techniques for Composite Materials. AFWAL-TR-86-4137 (Boeing Military Aircraft Co. Seattle, WA, 1986). – P. 137.
14. XI Niansheng, Journal of Aviation Materials, 2, 56(2000).

Костюченко В. И., Кузьмин В. М.
V.I. Kostyuchenko, V.M. Kuzmin

**ВЫСШИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТОКОВ
В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА**

**THE HIGHER HARMONICS OF MAGNETIZING CURRENTS
IN TRANSFORMER TYPE HEATERS**



Костюченко Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент военной кафедры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Vladimir I. Kostyuchenko — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Military Education, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kem@knastu.ru.



Кузьмин Вячеслав Матвеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Vyacheslav M. Kuzmin — Doctor in Engineering, Professor of the Department of Electrical Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kem@knastu.ru

Аннотация. Проведены исследования высших гармоник намагничивающих токов трансформаторов, имеющих симметричный магнитопровод. Предложены аналитические выражения для расчета модулей высших гармоник токов намагничивания отдельных фаз трансформатора и их симметричных составляющих. Достоверность методики подтверждена экспериментальными данными. Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании и производстве нагревательных элементов системы энергообеспечения на основе трехфазных трансформаторов.

Summary. A study of the higher harmonics of magnetizing currents of transformers with a symmetric magnetic conductor was carried out. Analytical equations are proposed for calculating modules of the higher harmonics of magnetizing currents of a transformer's separate phases and their symmetric components. The reliability of this method was confirmed by experimental data. Results of the theoretical and experimental research can be used for designing and manufacturing of heating elements within power supply systems on the basis of three-phase transformers.

Ключевые слова: высшие гармоники намагничивающих токов трансформаторов; симметричный магнитопровод; электроводонагреватель.

Key words: higher harmonics of magnetizing currents of transformers; symmetric magnetic conductor; electrical water-heater.

УДК 621.356; 621.314.2

Необходимость обеспечения плавного пуска нагревательного элемента трансформаторного типа обусловлена характерным для трансформатора переходным процессом при подключении его к сети. Возникающие при этом ударные токи и перенапряжения отрица-

тельно сказываются на состоянии изоляции, оказывают влияние на питающую сеть и должны быть по возможности снижены.

Это может быть достигнуто следующими способами: включение производится в строго определённый момент времени, частота или величина напряжения во время включения плавно доводятся до рабочего значения.

Плавный пуск позволяет ограничить скорость нарастания температуры изоляции в короткозамкнутом трансформаторе (КЗТ). За счёт этого может быть увеличен срок службы изоляции и КЗТ в целом.

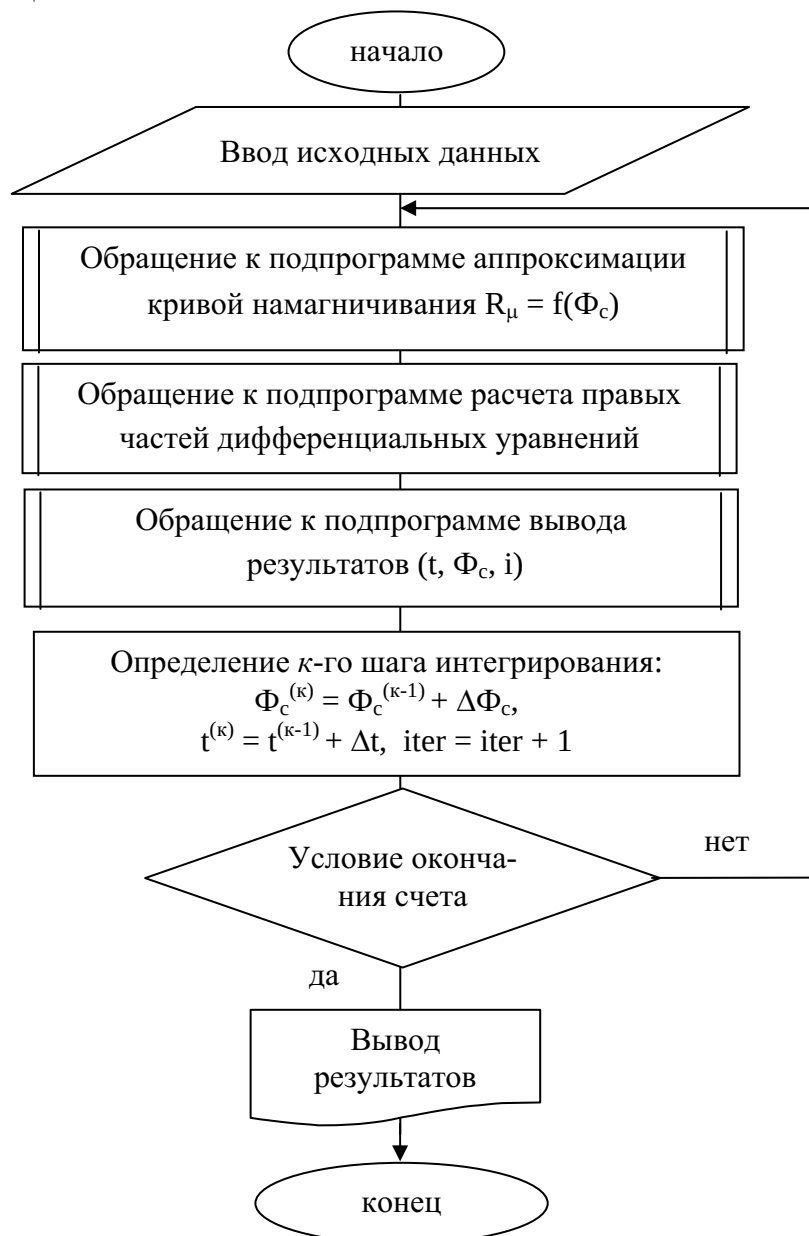


Рис. 1. Блок-схема расчета переходного процесса
трехфазного трансформатора

Задача регулирования нагрева является одной из наиболее важных и решается путем формирования управляющего сигнала. Применяются как замкнутые системы регулирования, так и разомкнутые. Первые для потребителя предпочтительней в силу постоянства температуры нагреваемой среды и возможности задания температуры непосредственно, но дороже,

поскольку требует применения датчиков температуры, усложняется процесс настройки и калибровки.

Для исследования зависимости величины тока намагничивания от времени включения были произведены расчеты переходных процессов при включении электропроводонагревателя трансформаторного типа с пространственной магнитной системой призматической формы. Блок-схема расчета переходных процессов представлена на рис. 1.

Расчеты показали, что максимальный бросок тока включения $i_{1\max}$ сильно зависит от начальной фазы напряжения φ_0 . В кривой тока включения наблюдаются нагрузочная и намагничивающая составляющие. Нагрузочный ток ввиду малости индуктивностей рассеяния практически сразу принимает установившийся синусоидальный характер и не зависит от φ_0 .

Для устранения бросков тока в обмотках КЗТ включение и отключение нагрузки желательно осуществлять в момент перехода первичного тока через ноль (чаще – в ожидаемый момент).

Анализ полученных результатов показал, что наилучшим моментом включения трехфазного трансформатора в сеть является вариант при начальной фазе напряжения U_A , $\varphi_0 = 0$, $\Phi_{\max}^* = 1,71$, $i_{1\max}^* = 3,38$; наилучшим – $\varphi_0 = \pi/2$, $\Phi_{\max}^* = 0,99$, $i_{1\max}^* = 1,55$.

Произведена оценка длительности переходного процесса при самом неблагоприятном моменте включения данного устройства ($\varphi_0 = 0$). Полученный результат показывает, что время окончания переходного процесса $t_k = 900$ о.е. ($t_k = 2,813$ с). Зная величины бросков тока и время переходного процесса, можно производить настройку защитной аппаратуры, делая запас с учетом допущений и погрешностей расчета.

При анализе несинусоидальных режимов систем электроснабжения (СЭ) влиянием токов намагничивания понижающих трансформаторов на гармонические искажения напряжения обычно пренебрегают ввиду их небольшой величины, считая, что основными источниками высших гармоник в электрических сетях являются вентильные преобразователи, электродуговые печи, сварочные установки. Однако измерения в сетях 6 – 10 кВ показывают наличие значительных, достигающих 2 – 4 % фоновых составляющих высших гармоник напряжения в электрических сетях с заведомо линейными нагрузками, причем доминирующими являются 3, 5 и 7 гармоники. Объяснить появление таких гармоник соответствующим их проникновением из высоковольтной питающей сети удастся не всегда. Представляется, что одной из главных причин их возникновения является влияние нелинейных шунтов намагничивания трансформаторов, суммарная мощность которых может быть соизмерима с мощностью трансформатора связи с энергосистемой [1; 3]. В токе намагничивания присутствуют все нечетные гармоники, в том числе и кратные трем. Последние, однако, являются гармониками не нулевой, а прямой и обратной последовательностей. Наибольший вес имеют 3, 5 и 7 гармоники.

Как правило, при номинальном напряжении в питающей сети величина токов намагничивания достаточно мала. Однако уже при повышении напряжения до уровня $1,15 U_H$ (максимальное рабочее напряжение) величина тока намагничивания может возрасти в 2,5 – 2,7 раза [2; 3], а коэффициент искажения синусоидальности напряжения, согласно расчетам, может даже при отсутствии в сети специально установленных емкостных элементов достигнуть значения 1 – 2 %. Наличие в распределительной сети емкостных элементов типа конденсаторных батарей (КБ) поперечной емкостной компенсации может привести к возникновению резонансных условий с соответствующим ростом токов и напряжений отдельных гармоник.

Теоретические исследования показывают, что в нормальном режиме при установке в СЭ регулируемых КБ мощностью, соизмеримой с номинальной мощностью сетевого трансформатора, возможны резонансы, начиная с 5 – 7 гармоник. При возникновении в сети однофазного замыкания на землю (наиболее частого повреждения в распределительных сетях 6 – 10 кВ с изолированной нейтралью) резонансная частота в контуре нулевой последовательности может сместиться в область 3 – 5 гармоник.

С целью определения аналитических выражений для расчета модулей высших гармоник токов намагничивания отдельных фаз трансформатора, Г.Н. Петровым были записаны и совместно решены системы уравнений магнитной и электрической цепей трехфазного трехстержневого трансформатора на холостом ходу [4]. В нашем случае (см. рис. 2) длины магнитных путей всех стержней магнитопровода трансформатора одинаковые, следовательно, представленные по методу гармонического баланса в виде совокупности решений для гармоник намагничивающих токов I_v с относительными частотами $v = 1, 3, 5, 7 \dots$ и для гармоник намагничивающих сил стержней имели бы для всех гармоник, не кратных трем, следующий вид:

а) соединение обмотки ВН в звезду:

$$W_1 \dot{I}_{v(A,B,C)} = \dot{F}_{v(A,B,C)};$$

б) соединение обмотки ВН в треугольник:

$$W_1 \dot{I}_{v(A,B,C)} = \sqrt{3} \dot{F}_{v(A,B,C)},$$

где $\dot{F}_v = l \cdot \dot{H}_v$, $\dot{I}_{v(A,B,C)}$ – мгновенные значения токов намагничивания фаз; l – длины магнитных путей для стержней магнитопровода; $H_v = f(B)$ – напряженности магнитного поля в соответствующих стержнях трансформатора, нелинейно зависящие от индукций магнитного поля, являющихся, в свою очередь, функциями напряжения, приложенного к обмотке трансформатора. Причем токи гармоник, кратных трем, в обоих случаях отсутствуют.

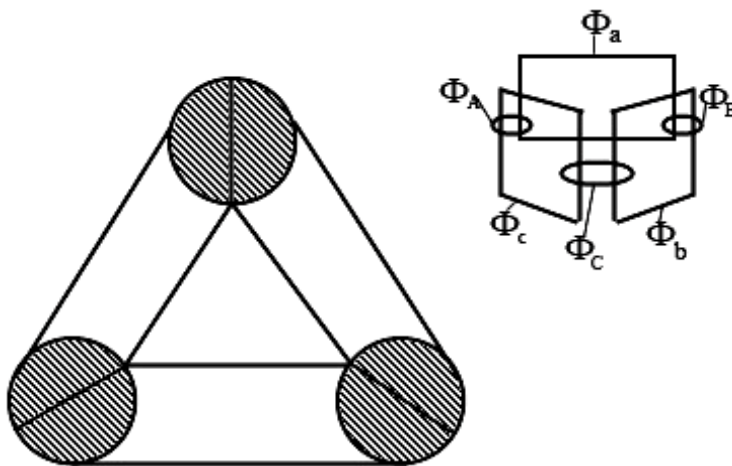


Рис. 2. Магнитная система и поле в трехфазном трансформаторе с пространственной магнитной системой

При соединении первичной и вторичной обмоток в звезду третья гармоническая намагничивающего тока по обмоткам протекать не может, в этом случае возникает третья гармоническая в магнитном потоке Φ_0 .

На практике первую и третью гармонические потока Φ_0 приходится учитывать с точки зрения потерь от вихревых токов, которые этот поток создают в стенках бака и других металлических конструкциях трансформатора. При анализе намагничивающих токов будем пренебрегать потоком Φ_0 ввиду его относительно малого значения.

Для исследования трансформатора с обмотками, соединенными по схеме треугольник – звезда, составляются уравнения:

$$\begin{aligned} F_B - F_A &= i_{0rB} W_1 - i_{0rA} W_1 = i_{0rI} W_1, \\ F_C - F_B &= i_{0rC} W_1 - i_{0rB} W_1 = i_{0rII} W_1, \\ F_A - F_C &= i_{0rA} W_1 - i_{0rC} W_1 = i_{0rIII} W_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Так как магнитные потоки в стержнях так же, как и напряжения, синусоидальны и образуют симметричную трехфазную систему, то, зная магнитные характеристики каждого стержня, можно построить кривые F_A, F_B, F_C в функции времени и путем вычитания кривых найти форму линейных намагничивающих токов по формулам (1).

Фазные намагничивающие токи, текущие в треугольнике, тождественны по форме с кривыми намагничивающих сил отдельных стержней, поэтому

$$i_{0rA} = \frac{F_A}{W_1}; \quad i_{0rB} = \frac{F_B}{W_1}; \quad i_{0rC} = \frac{F_C}{W_1}. \quad (2)$$

В случае соединения обмоток (при том же числе витков в фазе) по схеме звезда – звезда к уравнениям полного тока (1) следует добавить равенство $i_{0rA} + i_{0rB} + i_{0rC} = 0$. Из совместного решения уравнений определяются токи:

$$\begin{aligned} i_{0rA} &= \frac{2F_A - F_B - F_C}{3W_1}; \\ i_{0rB} &= \frac{2F_B - F_A - F_C}{3W_1}; \\ i_{0rC} &= \frac{2F_C - F_A - F_B}{3W_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

При соединении первичной обмотки в звезду и вторичной в треугольник намагничивающие токи $i_{0rA}, i_{0rB}, i_{0rC}$, определяемые из равенств (2), следует разбить на две части:

$$\begin{aligned} i_{0rA} &= i'_{0rA} + i_{0r\Delta} = \frac{F_A}{W_1}; \\ i_{0rB} &= i'_{0rB} + i_{0r\Delta} = \frac{F_B}{W_1}; \\ i_{0rC} &= i'_{0rC} + i_{0r\Delta} = \frac{F_C}{W_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Ток, протекающий во вторичной обмотке, соединенной треугольником $i_{0r\Delta}$, одинаковый во всех трех фазах, будет протекать в треугольнике, токи $i'_{0rA}, i'_{0rB}, i'_{0rC}$ – в звезде, причем $i'_{0rA} + i'_{0rB} + i'_{0rC} = 0$.

При этих условиях, складывая уравнения (4), определяются:

$$\left. \begin{aligned} i_{0r\Delta} &= \frac{F_A + F_B + F_C}{3W_1} \\ i'_{0rA} &= \frac{F_A}{W_1} - i_{0rA}; \\ i'_{0rB} &= \frac{F_B}{W_1} - i_{0rB}; \\ i'_{0rC} &= \frac{F_C}{W_1} - i_{0rC} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Радикальной мерой для устранения многих нежелательных явлений, связанных с наличием высших гармонических в магнитном потоке, является соединение одной из обмоток трехфазных трансформаторов в треугольник. В этом случае высшие гармонические в магнитных потоках и фазных ЭДС удастся почти полностью устранить.

Проведенные исследования показали, что при проектировании систем электроводонагрева на основе трехфазных трансформаторов первичную (питаемую от сети) обмотку предпочтительно соединять в треугольник. При необходимости соединения первичной обмотки трансформаторов, используемых для электроводонагрева в звезду, для продления срока службы и дополнительных возможностей по преобразованию переменного напряжения для бытовых нужд возможно размещать дополнительную обмотку низшего напряжения, соединенную в треугольник.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что проведенные исследования и анализ результатов позволяют расширить границы применения электронагревателей на основе трехфазных трансформаторов. В настоящее время всё большую востребованность получает специализированное оборудование, предназначенное для таких отраслей, как железнодорожный транспорт (нагрев цистерн), нефтегазодобывающий комплекс (нагрев нефти, газа), предприятия химической промышленности и др. Использование нагревательных элементов трансформаторного типа по различным критериям оценки наиболее целесообразно. Экспериментальные исследования макетных образцов предложенного устройства полностью подтвердили правильность теоретических выводов, а анализ результатов подтверждает высокие эксплуатационные характеристики, высокую надежность и долговечность таких устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Бредли, П. Боджер; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1990. – 320 с.: ил.
2. Важнов, А. И. Электрические машины / А. И. Важнов. – Л.: Энергия, 1969. – 768 с.: ил.
3. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.: ил.
4. Петров, Г. Н. Трансформаторы / Г. Н. Петров. – М.: Госэнергоиздат, 1934. – 446 с.: ил.



Космынин А. В., Красильникова О. А., Гуменюк Н. С.
A.V.Kosmynin, O.A.Krasilnikova, N.S.Gumenyuk

ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ УПОРНЫХ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ С ПРЯМОТОЧНЫМИ ЛАБИРИНТНЫМИ УПЛОТНЕНИЯМИ

THE OPTIMUM DESIGN OF GAS STATIC THRUST BEARINGS WITH STRAIGHT-THROUGH LABYRINTH SEALS

Космынин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета энергетики, транспорта и морских технологий Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(4217)53-41-91. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Mr. Alexander V. Kosmynin – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Power Engineering, Transport and Marine Technologies of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), phone: 8(4217)534191. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Красильникова Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(4217)54-30-74. E-mail: faks@knastu.ru.

Ms. Olga A. Krasilnikova – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Shipbuilding Technology of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), phone: 8(4217)543074. E-mail: faks@knastu.ru.

Гуменюк Надежда Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(4217)54-30-74. E-mail: faks@knastu.ru.

Ms. Nadezhda S. Gumenyuk – Senior Lecturer at the Department of Shipbuilding Technology of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), phone: 8(4217)543074. E-mail: faks@knastu.ru.

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальной конструкции упорных газостатических подшипников (УГСП) с лабиринтным уплотнением рабочей поверхности, которые по сравнению с гладкощелевыми УГСП способны обеспечить более высокие эксплуатационные показатели при сравнительно невысоком давлении наддува газа.

Summary. The paper presents the results of experimental studies with the goal of determining the optimum design for gas static bearings (SGSB) with straight-through labyrinth seals of the work surface, which in comparison with smooth-slot SGSB are capable of ensuring a better performance under a relatively low gas pressurization.

Ключевые слова: упорные газостатические подшипники, прямоточные лабиринтные уплотнения, несущая способность, относительный зазор, жесткость смазочного слоя, расход газа.

Key words: thrust gas-static bearings, straight-through labyrinth seals, load capacity, relative clearance, rigidity of lubricating film, gas flow rate.

УДК 62-229.331.621.924

Одной из проблем, связанных с широким внедрением в машиностроение УГСП, является создание подшипников с большой несущей способностью и жесткостью смазочного слоя, т.е. способных работать при повышенных осевых зазорах.

Одним из возможных путей решения этой проблемы является уплотнение рабочей поверхности УГСП кольцевыми лабиринтами. Ранее исследование таких опор было выполнено в Николаевском кораблестроительном институте группой ученых под руководством

Н.П. Седько [1; 2]. Исследованиями, в частности, установлено, что наличие лабиринтных уплотнений повышает несущую способность УГСП только при абсолютном давлении наддува газа выше 0,6 МПа. Такой вывод ограничивает в большинстве случаев практическое применение рассматриваемого типа опор в высокоскоростных машинах, поскольку именно это давление является стандартным для заводской пневмосети. При этом заметим, что в течение суток оно может изменяться. Очевидно, что с целью практического применения упорных газостатических подшипников с лабиринтными уплотнениями в различных машинах необходимо проведение их дальнейшего исследования при давлении наддува газа, близком к реальному значению заводской пневмосети. Корректное решение этой задачи состоит в проведении физического эксперимента, выполненного на основе теории планирования экстремальных экспериментов.

Таким образом, цель настоящей работы – опытное определение оптимальной конструкции УГСП с лабиринтным уплотнением рабочей поверхности, которые по сравнению с гладкощелевыми УГСП способны обеспечить более высокие эксплуатационные показатели при сравнительно невысоком давлении наддува газа.

Эксперименты выполнены на трех упорных кольцевых подшипниках с прямоточным уплотнением рабочей поверхности. Конструкция подшипников показана на рис. 1.

При неизменном значении периферийного диаметра $d_3 = 150$ мм исследуемые подшипники отличались между собой втулочным диаметром d_0 , который составлял 40, 47 и 55 мм. Прямоточные лабиринтные уплотнения располагались на рабочей поверхности УГСП у втулки и на периферии. Они имели прямоугольную форму гребня и, как показано в работе [3], обеспечивали один из наиболее низких значений коэффициента расхода газа.

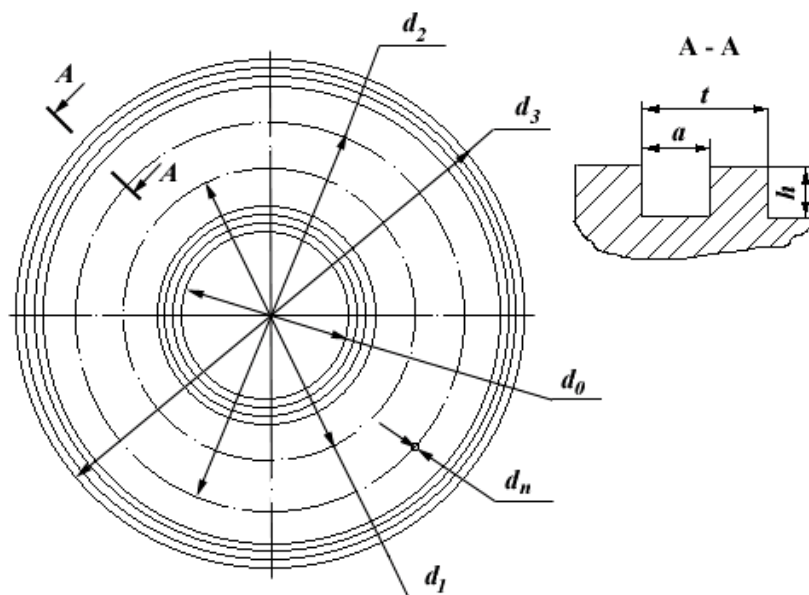


Рис. 1. Оптимизируемая конструкция УГСП с лабиринтным уплотнением

Экстремальные эксперименты выполнены на основе метода симплекс-планирования. Как и при решении любой оптимизационной задачи, для их проведения необходим критерий оптимизации, на основе которого строится функция цели, а также определение круга независимых переменных.

Стремление найти соотношение между конструктивными элементами УГСП, при котором в рабочем диапазоне изменения относительного зазора $\bar{h} = h/d_3$ отношение несущей способности подшипника Q к расходу газа G было максимальным, предопределило формирование функции цели рассматриваемой задачи в виде:

$$\text{найти } \max_{h_1} \int_{h_1}^{\bar{h}_2} Q d\bar{h} / G.$$

За независимые переменные оптимизационной задачи приняты: диаметр первого ряда питателей d_1 , диаметр второго ряда питателей d_2 , диаметр питателей d_n , количество питателей в ряду N , количество лабиринтов на периферии N_3 и у втулки N_0 , шаг лабиринтов t и расстояние между гребнями лабиринтов a . При этом равными принимались количество и диаметр питателей в первом и во втором ряду, а также шаг лабиринтов и расстояние между гребнями лабиринтных уплотнений на периферии и у втулки кольцевого подшипника.

Ограничения решаемой задачи являются неравенства, накладываемые на значения указанных выше независимых переменных:

$$d_n \geq 0,2 \text{ мм}; d_1 > d_0; d_2 < d_3; Nd_n < \pi d_1; \\ a \geq 0,4 \text{ мм}; t - a \geq 0,3 \text{ мм}; d_3 - 2tN_3 > d_2; d_0 + 2tN_0 < d_1.$$

С целью сокращения количества экспериментов решение оптимизационной задачи проводилось в два этапа. На первом этапе решалась задача нахождения конструкции гладкощелевого подшипника, оптимизированной по четырем параметрам – диаметру первого ряда питателей d_1 , диаметру второго ряда питателей d_2 , диаметру питателей d_n и количеству питателей в ряду N . На втором этапе ставилась задача нахождения оптимальной геометрии периферийного и втулочного лабиринтных уплотнений. Независимыми переменными данной задачи являлись количество лабиринтов на периферии N_3 и у втулки N_0 , шаг лабиринтов t и расстояние между гребнями лабиринтов a .

Результаты проведения двухэтапной оптимизации элементов конструкции УГСП с прямоточными лабиринтными уплотнениями позволили получить значения восьми независимых переменных, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

$\bar{d}_0$	$\bar{d}_1$	$\bar{d}_2$	$\bar{d}_n \cdot 10^3$	$\bar{S}_n \cdot 10^3$	t/a	$\bar{S}_0$	$\bar{S}_3$
0,27	0,44	0,67	6,0	1,5	1,875	0,119	0,518
0,31	0,48	0,69	6,7	1,8	1,750	0,110	0,409
0,37	0,52	0,73	7,3	2,1	2,114	0,095	0,374

В представленной таблице: $\bar{d}_0 = d_0/d_3$ – относительный диаметр подшипника, $\bar{d}_1 = d_1/d_3$ – относительный диаметр первого ряда питателей, $\bar{d}_2 = d_2/d_3$ – относительный диаметр второго ряда питателей, $\bar{d}_n = d_n/d_3$ – относительный диаметр питателей, $\bar{S}_0 = \frac{4S_0}{\pi(d_3^2 - d_0^2)} = \frac{(d_0 + 2tN_0)^2 - d_0^2}{d_3^2 - d_0^2}$ – относительная площадь, занятая втулочным лабиринтом, $\bar{S}_3 = \frac{4S_3}{\pi(d_3^2 - d_0^2)} = \frac{d_3^2 - (d_3 - 2tN_3)^2}{d_3^2 - d_0^2}$ – относительная площадь, занятая периферийным лабиринтом, $\bar{S}_n = 2N d_n^2 / (d_3^2 - d_0^2)$ – суммарная относительная площадь ограничителей расхода.

Отметим, что значения конструктивных элементов УГСП, как показали эксперименты, практически не зависят от величины давления наддува газа p_s , которое в опытах варьировалось от 4 до 6 ата.

На рис. 2 показана зависимость функции Q/G трех исследуемых подшипников от относительного зазора $\bar{h}$ при относительном давлении наддува газа $\bar{p}_s = p_a / p_s$, равном 1/4.

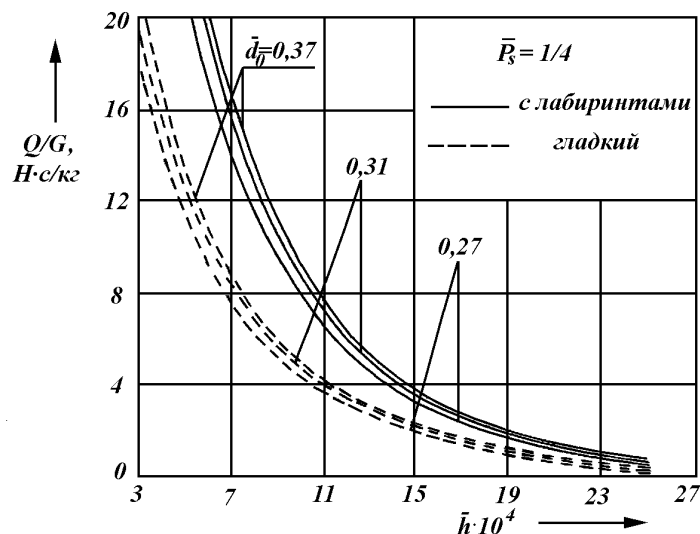


Рис. 2. Зависимость функции Q/G от зазора $\bar{h}$ и диаметра $\bar{d}_0$

Из представленных графиков видно, что во всем исследуемом диапазоне изменения относительного зазора $\bar{h}$ подшипникам с лабиринтным уплотнением рабочей поверхности при разных значениях $\bar{d}_0$ соответствуют более высокие значения функции Q/G по сравнению с гладкощелевыми УГСП. При этом разница в значении функции Q/G тем больше, чем меньше относительный зазор $\bar{h}$. Заметим, что при $\bar{h} = const$ с ростом относительного диаметра подшипника $\bar{d}_0$ увеличивается и отношение Q/G . Это наблюдается как у гладкощелевых подшипников, так и у подшипников с лабиринтными уплотнениями.

Зависимость коэффициентов несущей способности C_Q исследуемых подшипников от относительного зазора $\bar{h}$ показана на рис. 3.

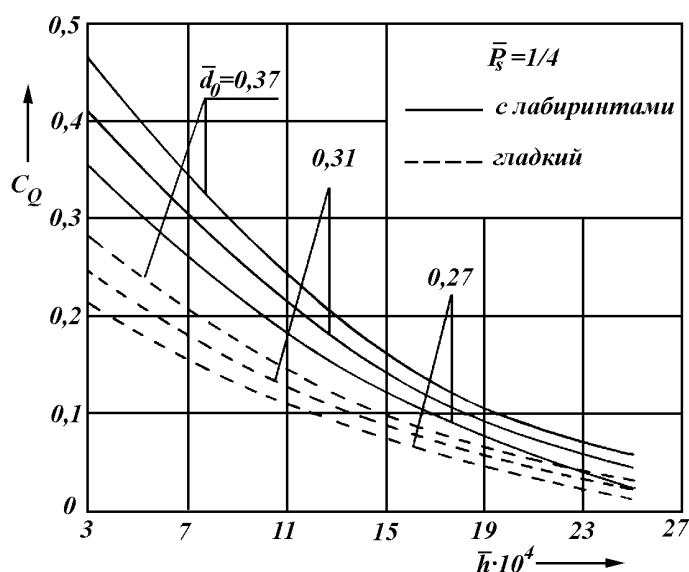


Рис. 3. Зависимость коэффициента несущей способности C_Q от зазора $\bar{h}$ и диаметра $\bar{d}_0$

Наибольшее отличие в величине коэффициента несущей способности имеет место при невысоких значениях относительного зазора $\bar{h}$. Так, при относительном зазоре $\bar{h} = 3 \cdot 10^{-4}$ и давлении наддува $\bar{p}_s = 1/4$ коэффициент несущей способности исследуемых УГСП с лабиринтными уплотнениями увеличивается в среднем на 65 % по сравнению с гладкощелевыми подшипниками.

В области больших зазоров, как показывают эксперименты, эффективность подшипников с лабиринтными уплотнениями практически оказывается такой же, как и у гладкощелевых УГСП.

Как видно из представленных графиков, с увеличением относительного диаметра $\bar{d}_0$ коэффициент несущей способности подшипников также увеличивается, что связано с более эффективным распределением давления смазки в зазоре.

На рис. 4 представлена зависимость расхода газа G , подаваемого на смазку подшипников, от зазора $\bar{h}$ и диаметра $\bar{d}_0$.

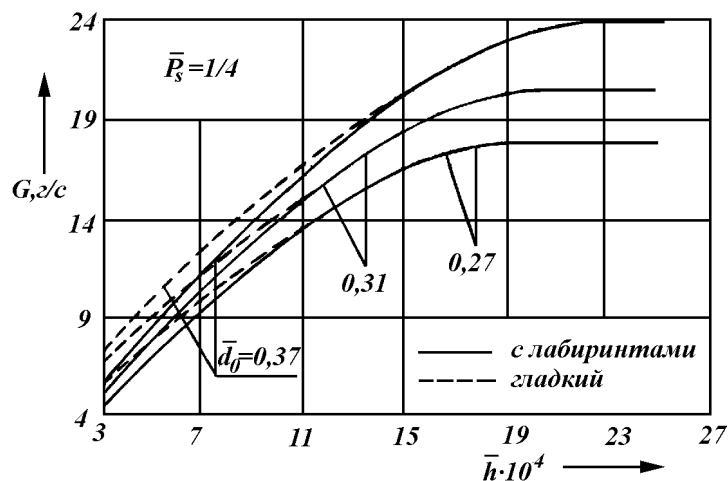


Рис. 4. Зависимость расхода газа G от зазора $\bar{h}$ и диаметра $\bar{d}_0$

Наличие лабиринтных уплотнений на рабочей поверхности упорных подшипников приводит к уменьшению расхода газа в области невысоких значений относительного зазора. Подшипники с большим относительным диаметром $\bar{d}_0$ имеют более высокое значение расхода газа, подаваемого на смазку. Это, главным образом, связано с тем, что в результате проведения экстремального эксперимента они имеют наибольшее значение суммарной относительной площади питателей $\bar{S}_n$. Кроме этого их второй ряд наддува располагается ближе к периферии подшипника, вследствие чего они имеют меньшее сопротивление движению смазки по сравнению с другими исследуемыми УГСП.

Зависимость коэффициента жесткости смазочного слоя $k_s = f(\bar{h}, \bar{d}_0)$ показана на рис. 5.

Анализ представленных графиков показывает, что подшипники с лабиринтными уплотнениями обладают в целом более высокими значениями коэффициента жесткости в широком диапазоне изменения относительного зазора. При этом гладкощелевым подшипникам и УГСП с лабиринтными уплотнениями, имеющими повышенное значение относительного диаметра $\bar{d}_0$, соответствует большее значение коэффициента жесткости k_s .

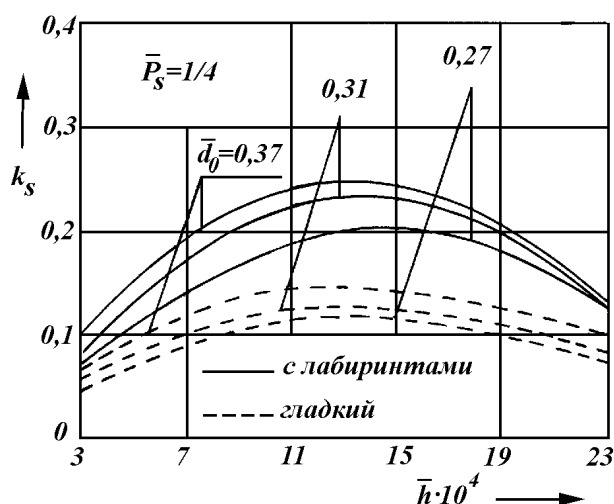


Рис. 5. Зависимость коэффициента жесткости k_s от зазора $\bar{h}$ и диаметра $\bar{d}_0$

Таким образом, комплекс выполненных экспериментов показывает, что наличие лабиринтных уплотнений на рабочих поверхностях УГСП является эффективным средством повышения несущей способности опор не только при высоком давлении наддува газа, но и при давлении отвечающей величине рабочего давления заводской пневмосети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов, А. М. Влияние конструктивных факторов на несущую способность кольцевых газостатических подпятников турбомашин / А. М. Антонов, Н. П. Седько // Труды НКИ, Николаев. – 1972. – № 55. – С. 28-32.
2. Седько, Н. П. Некоторые результаты экспериментального исследования газостатических двухрядных подпятников с лабиринтными канавками / Н. П. Седько, Я. Х. Сорока // Труды НКИ, Николаев. – 1971. – № 42. – С. 36-40.
3. Щегляев, А. В. Паровые турбины / А. В. Щегляев. – М.: Энергия, 1976. – 358 с.

Черный С. П., Гусаров А. А.
S.P.Chernyj, A.A.Gussarov

НЕЧЕТКАЯ МНОГОКАСКАДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

MULTISTAGE DIRECT CURRENT DRIVE FUZZY CONTROL SYSTEM



Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepapu@knastu.ru.
Mr.Sergej P. Chernyi – PhD of Engineering, Associate Professor at the Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; e-mail: kepapu@knastu.ru



Гусаров Александр Александрович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepapu@knastu.ru.
Mr.Alexander A. Gussarov – undergraduate student, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; e-mail: kepapu@knastu.ru

Аннотация. В работе представлен синтез нечетких логических регуляторов с применением различных алгоритмов вывода. Кроме того, произведен сравнительный анализ классической системы управления электроприводом с нечеткой многокаскадной системой регулирования и простейшими нечеткими системами, реализующими классические законы управления.

Summary. This paper presents a synthesis of fuzzy logic controllers with various fuzzy inference methods. In addition, a comparative analysis was made of a classical electric drive control system with a multistage fuzzy control system and with simple fuzzy systems implementing the classical laws of control.

Ключевые слова: нечеткий логический регулятор, система управления, многокаскадный логический регулятор, электропривод постоянного тока, нечеткое моделирование.

Key words: fuzzy logic controller, control system, multistage fuzzy logic controller, direct current drive, fuzzy modeling.

УДК 6283.621.3

В настоящее время широкое распространение получают интеллектуальные системы управления и принятия решений. Проектирование систем регулирования с применением мягких вычислений представляет собой проблему, не поддающуюся алгоритмизации. Синтез и анализ нечетких регуляторов для управления техническими процессами является актуальной задачей в настоящее время и имеет широкие перспективы развития в будущем. Нечеткое моделирование оказывается особенно удобным, когда при описании технических систем присутствует некоторая неопределенность, которая существенно затрудняет применение точных количественных методов. В большинстве сложных систем достаточно трудно обеспечить полную наблюдаемость объекта управления. Также для таких систем управления весьма сложно получить полное математическое описание объекта, что приводит к необхо-

димости принимать существенное количество допущений, которое в значительной степени приводит к снижению точности работы системы [1].

В таких проблемных ситуациях системы управления на базе нечеткой логики дают более адекватные результаты по сравнению с классическими подходами без существенной потери качества управления. Синтез нечеткого регулятора может осуществляться на основе общих представлений эксперта или специалиста о поведении системы.

На сегодняшний день системы, построенные на принципах нечеткой логики, находят свое применение во многих сферах человеческой деятельности, и области их использования постоянно расширяются. Такие системы используются при управлении сложными технологическими процессами, при управлении бизнес-процессами, в системах поддержки принятия решений, при создании различных приборов и бытовой техники.

Одним из направлений развития нечетких систем управления является построение регулятора, использующего многокаскадную схему нечеткого вывода [3]. Введение многокаскадности позволяет существенно повысить интеллектуальность системы, что впоследствии позволит значительно расширить диапазон применения нечетких систем. Первый каскад нечеткого регулятора можно рассматривать как экспертную систему, которая на основе имеющихся входных данных производит управление регуляторами, находящимися во втором каскаде. Рассмотрим синтез такого регулятора на примере двигателя постоянного тока.

Объект регулирования представляет собой электропривод постоянного тока с независимым возбуждением, который питается от управляемого реверсивного тиристорного преобразователя с двумя выпрямительными группами, встречно-параллельной схемой включения и раздельным управлением группами. Трансформатором обеспечивается согласование номинальных значений сети, питающей управляемый преобразователь, его выходного напряжения и тока якоря двигателя [4].

Классическая система управления электроприводом состоит из двух контуров регулирования – тока якоря и скорости. Контур тока включает в себя силовую часть электропривода с выходом по току якоря I_a , цепь отрицательной обратной связи по току якоря и регулятор. Контур скорости двигателя включает в себя замкнутый контур тока, цепь отрицательной обратной связи по скорости двигателя и регулятор скорости (см. рис. 1).

Структурная схема электропривода построена с учетом целого ряда допущений: ток цепи якоря двигателя непрерывный; реакция якоря двигателя отсутствует; регулировочная характеристика управляемого преобразователя линейна; момент инерции, приведенный к валу двигателя, постоянен; не учитывается инерционность датчиков тока и скорости, а также ограничения тока якоря [4, 127].

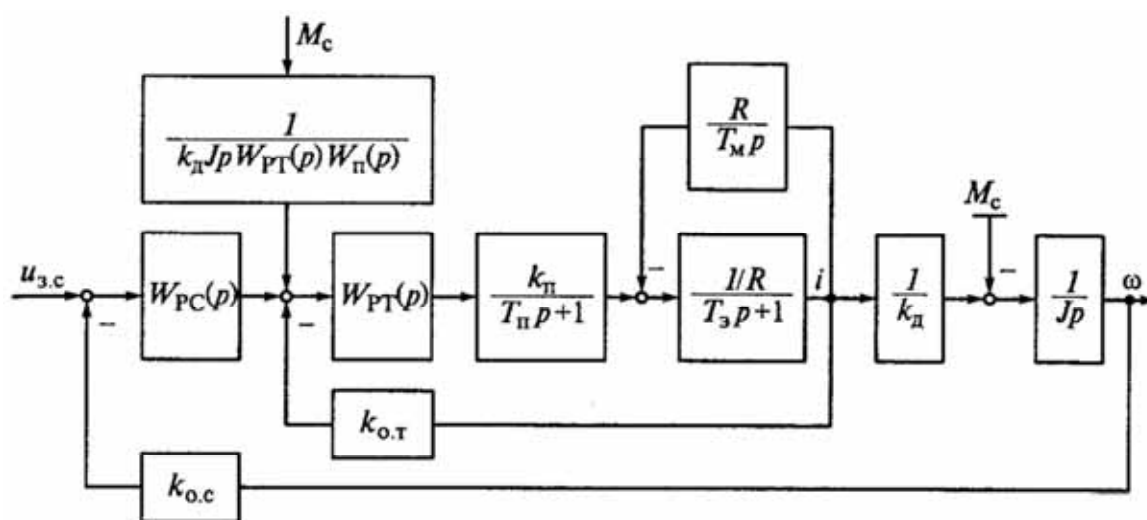


Рис. 1. Структурная схема электропривода

Классическая система управления реализована на базе двух ПИ-регуляторов, настроенных на технический оптимум и расположенных, соответственно, в контурах тока и скорости. Учитывая существенное количество вышеприведенных допущений, произведем замену классического ПИ-регулятора в контуре скорости рассматриваемой системы электропривода

на нечеткий регулятор. Синтез и моделирование нечеткой многокаскадной системы управления производится с применением пакета Fuzzy Logic Toolbox для MatLab [2; 5].

Нечеткий регулятор будет состоять из двух каскадов (см. рис. 2), использующих в своей основе алгоритмы вывода Мамдани и Сугено соответственно. Такой выбор обусловлен, прежде всего, необходимостью структурной реализации нечеткой экспертной системы, сложностью согласования нечетких регуляторов в первом и втором каскадах, а также существенным отличием диапазонов информационных входных сигналов. Кроме того, необходимо отметить, что для придания моделируемой системе некоторых свойств универсальности второй каскад системы управления будет содержать абсолютно одинаковые нечеткие логические регуляторы. На согласующий регулятор первого каскада возлагаются функции предварительной обработки входных сигналов, их масштабирования и нормализации относительно величины сигнала ошибки. Итоговое управляющее воздействие многокаскадного нечеткого регулятора будет складываться из сигналов управления, формируемых регуляторами второго каскада, использующими алгоритм вывода Сугено первого порядка.

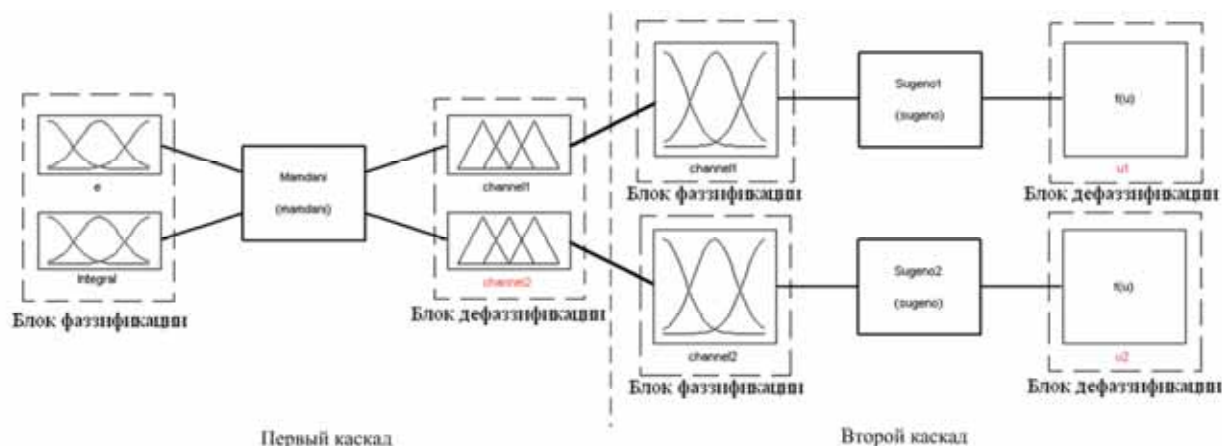


Рис. 2. Многокаскадный нечеткий регулятор

Многокаскадный регулятор имеет два входа, которым соответствуют входные лингвистические переменные «ошибка регулирования» и «интеграл ошибки». Входная лингвистическая переменная e – «ошибка регулирования». Терм множество лингвистической переменной «ошибка регулирования» принимает значения: Z – «нулевое»; SN – «малое положительное»; LP – «большое положительное»; SN – «малое отрицательное»; LN – «большое отрицательное» (см. рис. 3). Центральные термы построены с применением гауссовых функций принадлежности, термы, описывающие крайние состояния диапазона регулирования, используют Z - и S -образные функций принадлежности соответственно. Вторая входная лингвистическая переменная регулятора Integral («интеграл ошибки») имеет аналогичное распределение нечетких термов, с учетом диапазона изменения величины входного сигнала.

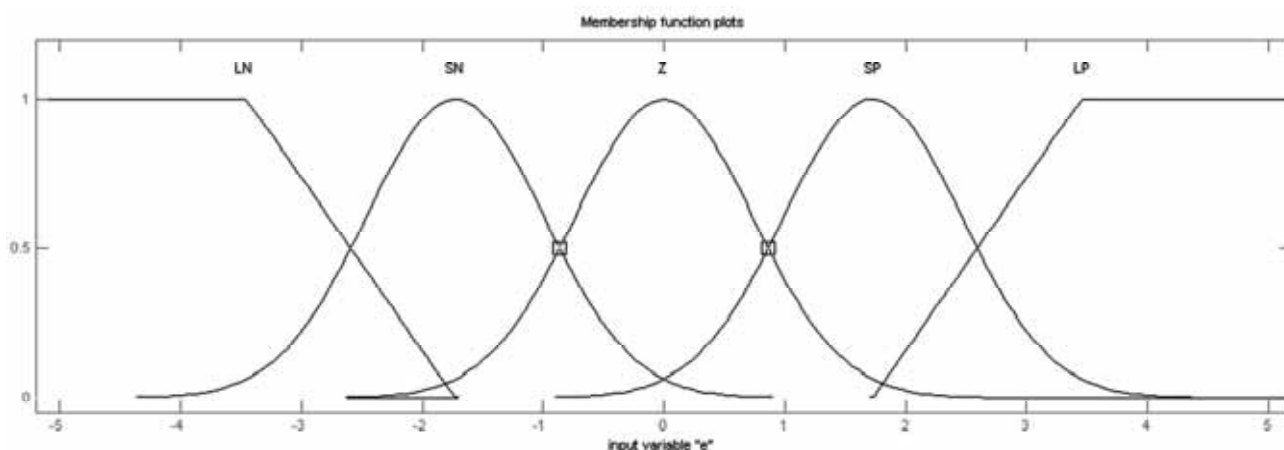


Рис. 3. Распределение функций принадлежности для входной переменной e

Лингвистические переменные «Channel1» и «Channel2» являются промежуточными и определяют одновременно блоки дефаззификации нечеткого для регулятора Мамдани первого каскада и блоки фаззификации для нечетких регуляторов Сугено второго каскада. Количество нечетких термов лингвистических переменных Channel1 и Channel2, а также их распределение одинаково и аналогично представленным на рис. 3. Такие промежуточные лингвистические переменные будут как определять очередность включения последующих нечетких регуляторов, так и масштабировать входные управляющие сигналы второго каскада.

Регуляторы, установленные во втором каскаде, представляют собой нечеткие структуры с алгоритмом нечеткого логического вывода Сугено нулевого порядка. Выходные переменные второго каскада u_1 и u_2 с учетом упрощенного алгоритма нечеткого вывода будут состоять из следующего набора констант: $[-30; -3; 0; 3; 30]$.

Описанное выше распределение функций принадлежности блоков фаззификации и дефаззификации первого и второго каскадов нечеткого логического регулятора обеспечивают заданную точность и высокое быстродействие системы. Увеличение количества нечетких термов и изменение вида функций принадлежности приведут к существенному росту алгоритмической сложности нечеткого многокаскадного регулятора.

База знаний регулятора первого каскада состоит из шести продукционных правил вида

Если e есть LP и Integral есть Z, то Canal₁ есть LP.

База знаний для каждого регулятора Sugeno, расположенных во втором каскаде, будет состоять из пяти правил вида

Если Canal₁ Z, то u_1 есть Z.

Проследим динамические характеристики систем управления с классическим ПИ-регулятором и многокаскадным нечетким регулятором, реакцию на ступенчатое задающее воздействие (см. рис. 4). Кроме того, для сравнения была смоделирована система с однокаскадным нечетким регулятором в контуре скорости (с алгоритмом вывода Сугено), а также система с одним нечетким регулятором, замещающим классические регуляторы тока и скорости.

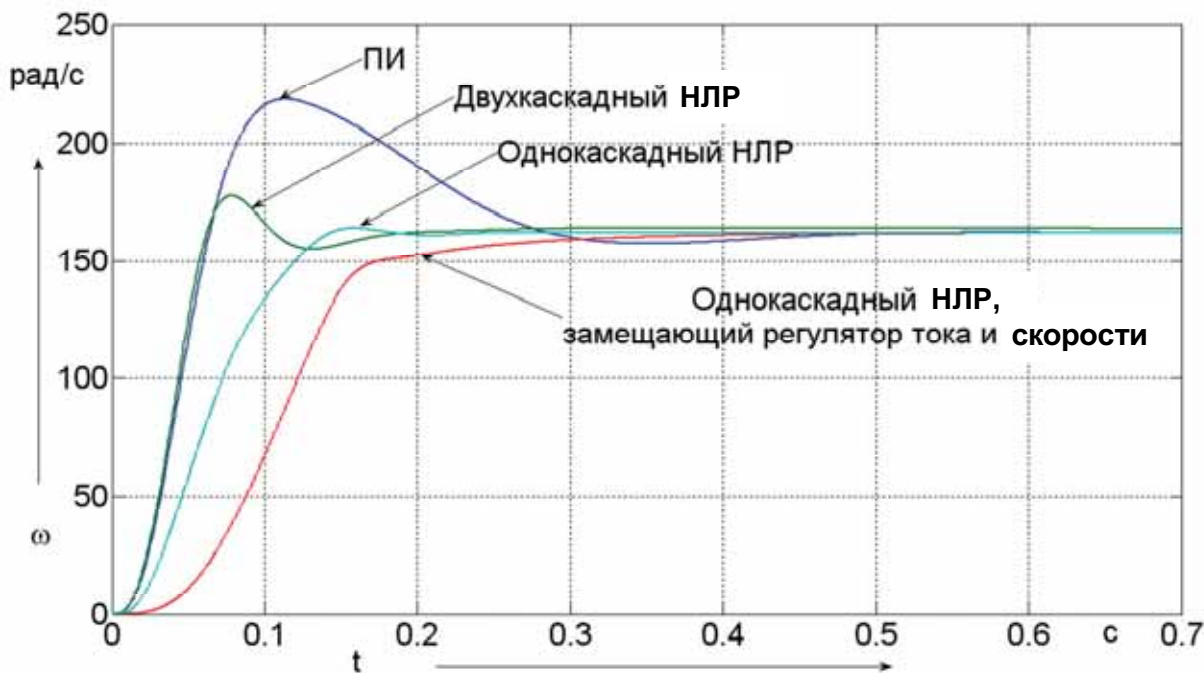


Рис. 4. Реакция системы на задающее воздействие

В системе с многокаскадным регулятором перерегулирование составляет 8 %, тогда как в классической системе величина перерегулирования 34,9 %. Однокаскадные регуляторы

перерегулирования практически не имеют. Другим, не менее важным, показателем качества работы системы автоматического регулирования является время переходного процесса, которое в классической системе составляет 0,25 с, в системе с нечетким многокаскадным регулятором – менее 0,1 с.

Итак, по показателю быстродействия смоделированная нечеткая двухкаскадная система превосходит прочие рассмотренные здесь системы, по показателю перерегулирования уступает однокаскадным системам, но превосходит систему с «четким» ПИ-регулятором.

Рассмотрим поведение смоделированных систем при изменении сопротивления якорной цепи в диапазоне $\pm 20\%$ (см. рис. 5 – 8).

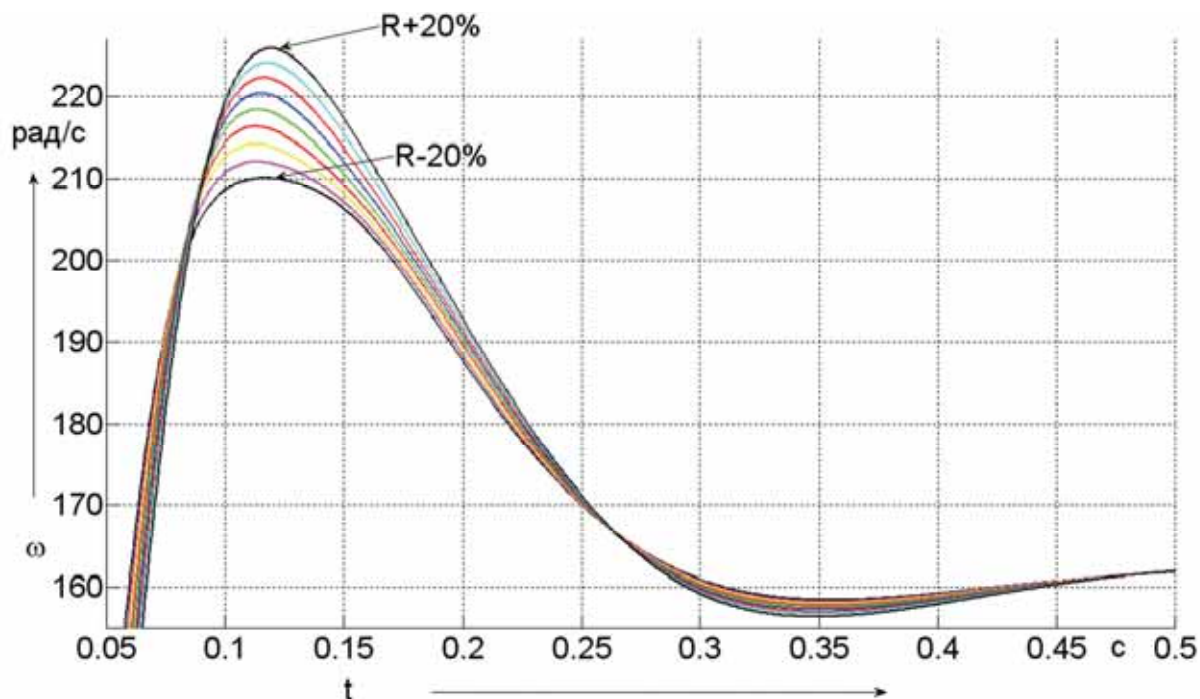


Рис. 5. График скорости (система с ПИ) при различных значениях сопротивления якорной цепи

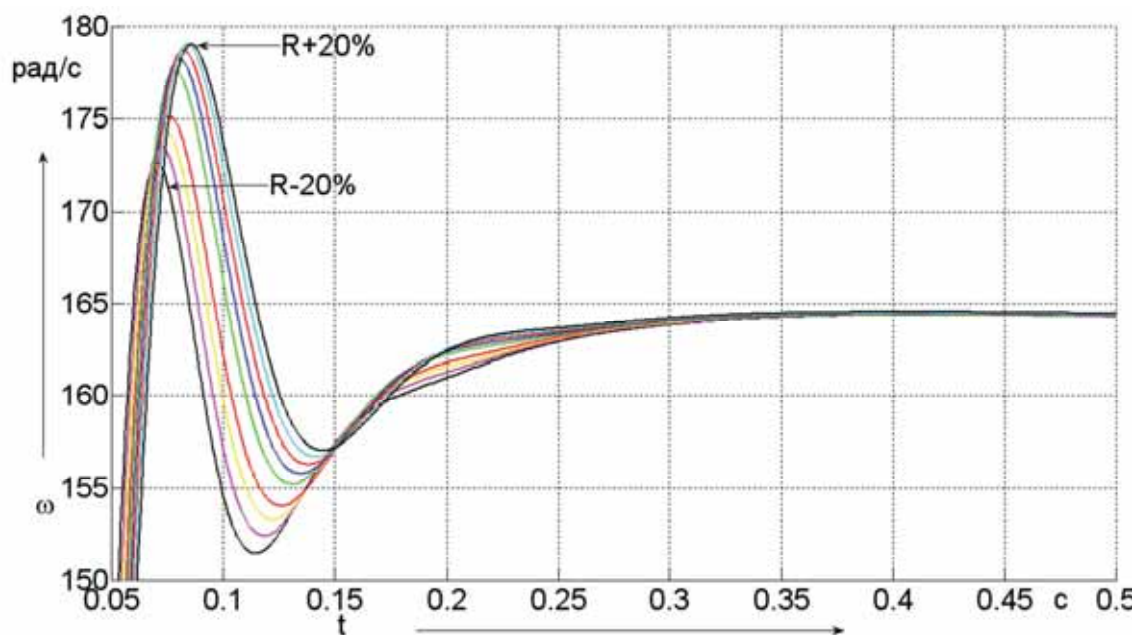


Рис. 6. График скорости (система с МНЛР) при различных значениях сопротивления якорной цепи

При изменении значения сопротивления якорной цепи в заданном диапазоне (см. рис. 5 – 8) в системе с МНЛР наблюдается меньший разброс значений скорости в точке максимума графика (3,4 %), чем в системе с ПИ-регулятором (7,3 %). Кроме того, необходимо отметить, что однокаскадный НЛР в контуре скорости показал достаточно хорошие адаптивные свойства.

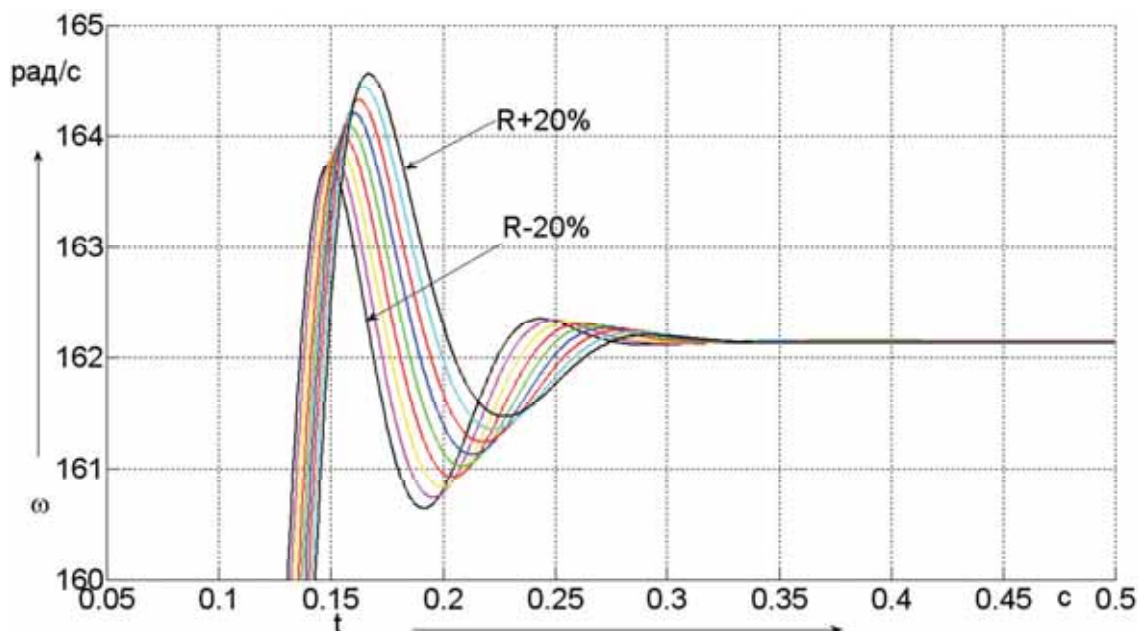


Рис. 7. График скорости (система с однокаскадным НЛР) при различных значениях сопротивления якорной цепи

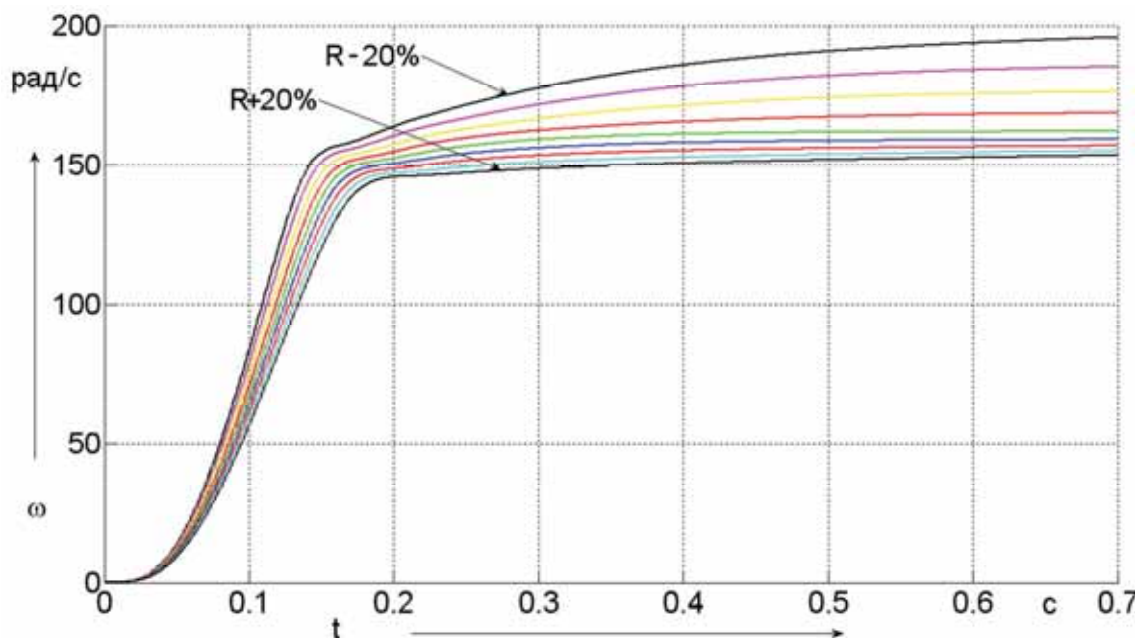


Рис. 8. График скорости (система с однокаскадным регулятором, замещающим регуляторы тока и скорости) при различных значениях сопротивления якорной цепи

Ниже представлена зависимость между максимальным отклонением скорости и величиной сопротивления для рассмотренных выше моделей систем управления (см. рис. 9).

По наклону интегральной характеристики можно сделать вывод о поведении системы при воздействии на нее различных возмущений, как внешних, так и внутренних. Нечеткие системы управления менее восприимчивы к изменению сопротивления и обладают некоторыми робастными свойствами в диапазоне изменения этого параметра в пределах $\pm 20\%$.

При этом необходимо отметить, что классическая система такими свойствами не обладает. Приведенные модели систем управления двигателем постоянного тока ведут себя аналогично при вариации ряда других параметров объекта управления: постоянной времени и коэффициента усиления преобразователя, электромагнитной и механической постоянных времени.

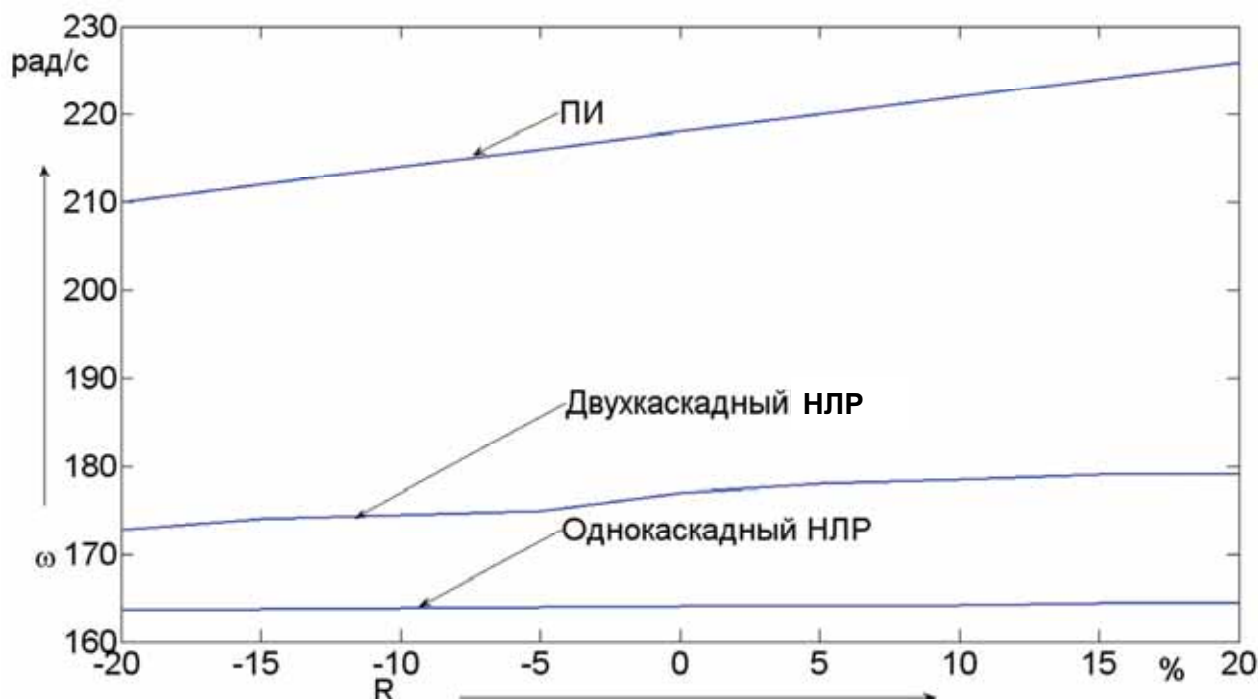


Рис. 9. Зависимость между максимальным отклонением скорости и величиной сопротивления

Таким образом, система управления с нечетким двухкаскадным регулятором в достаточно широких пределах остается невосприимчивой к действию внутренних возмущающих воздействий, т.е. на нее не оказывает существенного влияния нестационарность ряда параметров объекта регулирования (сопротивления якорной цепи, постоянной времени и коэффициента усиления тиристорного преобразователя), что достаточно часто проявляется в электромеханических системах. При исследовании реакции САУ на внутренние возмущения выходной параметр – угловая скорость электропривода – в установившемся режиме достигает своего номинального значения, что говорит о наличии у такой системы некоторых робастных свойств (в ограниченном диапазоне изменения параметров).

В дальнейшем, развивая концепцию многокаскадного нечеткого регулятора, существует возможность реализации систем управления, учитывающих достаточно большое количество различных информационных входных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деменков, Н. П. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие / Н. П. Деменков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
2. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
3. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Соловьев, С. П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2006. – 74 с.
4. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учеб. для студентов вузов / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
5. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Виноградов С. В., Щелкунов Е. Б., Щелкунова М. Е., Косицина Л. Г.
S.V.Vinogradov, Y.B.Schelkunov, M.Y.Schelkunova, L.G.Kositsina

СТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

THE MAKING OF INFORMATION SOCIETY



Щелкунов Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ktm@knastu.ru.
Mr. Yevgeny B.Schelkunov – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), ktm@knastu.ru.



Щелкунова Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Ms. Marina Y. Schelkunova – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Computer Software and Computing of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), ktm@knastu.ru.



Виноградов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Vinogradov Sergey — Ph.D., associate professor of Mechanical Engineering "Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sergwin72@rambler.ru.



Косицина Лина Георгиевна – студентка Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: linakms87@mail.ru.

Kositsina Lena G. — a student of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: linakms87@mail.ru

Аннотация. Представлен анализ современного информационного общества, раскрывающий этапы его становления, развития, функционирования.

Summary. The paper presents an analysis of the contemporary information society, describing its development stages and mechanisms.

Ключевые слова: компьютер, информационные технологии, информация, информационная система.

Keywords: computer, information technology, information, information system.



УДК 001.18

Открытия XX в. изменили жизнь человека сильнее, чем все достижения цивилизации за предшествующий период. Человек открыл новые сферы, новые возможности использования этих сфер. Подводная лодка, электрическая или электронная машина, самолет, атомная электростанция, космический корабль и т.д. сегодня стали частью жизни. Начиная с 50-х гг. XX в., характер человеческой деятельности изменился коренным образом, что проявилось практически во всех отраслях экономики, производства, а также в науке, образовании и культуре.

Одна из основных причин вышеуказанных изменений – появление электронных вычислительных машин (ЭВМ). Всего за несколько десятков лет ЭВМ эволюционировали от первых ламповых машин весом несколько десятков тонн до современных компьютеров, уместящихся на ладони и весящих несколько десятков граммов. Ошеломляющие темпы роста производительности современных компьютеров и одновременное уменьшение их размеров в совокупности с постоянно упрощающимися способами общения человека с ЭВМ позволили применять их в различных сферах человеческой деятельности.

На сегодняшний момент науки, связанные с изучением и практическим применением информационных технологий и вычислительных машин, все также переживают небывалый подъем. Темпы развития сферы «высоких технологий» и уровень прибылей в ней превышают на порядок темпы развития традиционных отраслей производства. Западные экономисты подсчитали, что если бы аналогичные темпы роста, которые существуют сейчас в области «высоких технологий», наблюдались, к примеру, в авиастроении, то на сегодняшний момент себестоимость такого авиалайнера, как Боинг 747 была бы не более 500 долл. (в реальности она составляет порядка нескольких десятков миллионов долларов).

С начала XX в. в результате бурного развития науки и техники количество информации, циркулирующей в обществе, стало возрастать день ото дня. Примерно в середине 60-х гг. стали говорить об информационном взрыве, была найдена закономерность в увеличении количества информации в обществе, которая говорила об экспоненциальном росте объема информации.

В настоящее время существующее количество информации не в состоянии воспринять ни один человек. Сегодня принято говорить уже не об информации как таковой, а об информационных системах, позволяющих подойти к этому вопросу более глобально. Жизнь человека без информационных систем и технологий невозможна, человек, а особенно городской житель, встречается с ними ежедневно и по несколько раз. Что же послужило причиной такого бурного внедрения в жизнь человека информационных технологий? Очевидно, что в данной сфере знаний прогресс рождает прогресс. Для анализа и оперирования существующим объемом данных необходимы новые алгоритмы обработки, упорядочения, фильтрации информации, новые способы организации доступа, организованного хранения данных и т.п. В свою очередь, это порождает возможность оперирования еще большими объемами информации, дает возможность открывать новые области знаний, находить закономерности и совершать революционные открытия как в самостоятельных дисциплинах, так и на стыках наук.

Логическим результатом массового применения информационных технологий должно стать построение информационного общества. По определению японских ученых в таком обществе информация будет доступна каждому человеку, качество этой информации будет очень высоким, и в обществе будут существовать все средства для ее распространения, хранения и использования. Немаловажным фактором они определили и стоимость информационных услуг, которые должны быть доступны всем. Естественно, в таком обществе большая часть людей будет занята обработкой информации, что является наиболее важной чертой информационного общества. Это связано с тем, что информация становится продуктом информационного производства, превращается в товар, который можно продать на информационном рынке.

В СССР проблема информационного рынка впервые была затронута в первой половине 20-х гг. XX в. В период нэпа возникла острая необходимость в коммерческой рекламе, в качестве примера можно привести рекламные слоганы общества «Добролет», написанные В. Маяковским.

В 1989 г. в СССР была разработана Концепция информатизации общества, которая по предварительным оценкам должна завершиться к 2050 г. при условии стабильной экономической и политической обстановки в стране.

Осуществление в Российской Федерации федеральной целевой программы «Электронная Россия 2002-2010 гг.» дало мощный толчок развитию информационного общества в российских регионах.

Особая роль в освоении новейших информационных технологий отводится информатике, которая с 1985 г. изучается во всех средних школах страны и с 1991 г. во всех высших учебных заведениях России. В рамках приоритетного национального проекта «Образование» осуществляются внедрение открытого отечественного программного обеспечения и организация компьютерно-правового ликбеза в вузах и школах.

В настоящее время любая страна, насколько бы индустриально развитой она не была, перейдет в разряд стран третьего мира, если опоздает с информатизацией. В связи с этим, в настоящее время в России и других более или менее развитых странах информация становится стратегическим ресурсом общества, она необходима для эффективного управления любой социально-экономической системой. В качестве примера можно привести США, где в настоящее время численность «информационных работников», т.е. тех людей, в чьей профессиональной деятельности доминирует умственный труд, достигла 60 % от всего трудоспособного населения страны.

Построение информационного общества тесно связано с информатизацией, процессом обеспечения решения актуальных внутренних проблем государства и, прежде всего, удовлетворения спроса на информационные продукты и услуги. Продолжая логическую цепочку, мы найдем, что с информатизацией тесно связано понятие компьютеризации общества, внедрения компьютерных средств для обработки, хранения и распространения информации и что эти процессы связаны с всё возрастающей сложностью управления экономикой как на уровне государства, отрасли, региона, так и на уровне конкретного предприятия.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что современному обществу, которое не желает стагнации, жизненно необходимы в больших объемах высокообразованные специалисты, умеющие работать с большими объемами данных и знаний, специалисты, умеющие управлять этими объемами данных, а именно специалисты, у которых основной профессиональной сферой деятельности являются «информационные (высокие) технологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шендрик, А. И. Информационное общество и его культура: противоречия становления и развития / А. И. Шендрик // Трансформации культуры в глобальном информационном обществе. – М., 2009. – С. 23-43.
2. Воля к идентичности: сопротивление и информационные технологии // Интернет и российское общество / под ред. И. Семенова; Моск. Центр Карнеги. – М.: Гендальф, август 2002.
3. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс; пер. с англ., под науч. ред. О. И. Шкаратана. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
4. Постановление правительства РФ от 28 января 2002 г. № 65 (НТЦС) «О федеральной целевой программе "Электронная Россия (2002 – 2010 годы)"» (редакция на 01.08.2008 г.).

Прокудин А. Н.
A. N. Prokudin

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НОВОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА**

**NUMERICAL MODELLING OF THE OPERATION OF A NEW ICE-COVER BREAKING
DEVICE**

Прокудин Александр Николаевич – аспирант института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(4217)54-95-39. E-mail: sunbeam_85@mail.ru.

Mr. Alexander N. Prokudin – post-graduate student, Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur); phone: (4217) 54-95-39; e-mail: sunbeam_85@mail.ru.

Аннотация. Работа посвящена численному моделированию процесса разрушения ледяного покрова новым устройством, использующим энергию взрыва газовой смеси. Математическая модель процесса строится с использованием уравнений теории упругости для малых деформаций и уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Сформулированная система уравнений решается апробированным численным методом. В результате проведенных расчетов получена зависимость радиуса области разрушения от геометрических параметров устройства и объема газовой смеси.

Summary. The paper deals with numerical modeling of the ice-cover breaking process by means of a new device that uses the energy of air-gas mixture explosion. The mathematical model of the process is built using the equations of the elastic small-deformation theory and the Navier-Stokes equation for viscous incompressible fluid. The established set of equations is solved by a proven numerical method. As a result of numerical calculations, the dependence of the destruction area on geometrical parameters of the device and on the air-gas mixture volume is defined.

Ключевые слова: разрушение ледяного покрова, математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние.

Key words: ice cover breaking, mathematical modelling, stress-strain state.

УДК 539.3

Введение

Эффективное разрушение ледяного покрова является одной из наиболее актуальных и важных проблем современной ледотехники и инженерной гляциологии, с которой связано решение множества задач в северных регионах Земли. В первую очередь к таким задачам следует отнести предупреждение и ликвидацию ледяных заторов, которые представляют собой скопления льда в русле реки, возникающего, как правило, во время весеннего ледохода [12; 13]. Наиболее опасным следствием ледяных заторов являются наводнения [12; 13; 16]. В населенной местности наводнения могут привести к катастрофическим последствиям: разрушению промышленных и гражданских сооружений, массовой гибели людей. В Российской Федерации, помимо борьбы с ледовыми осложнениями, большое значение имеет продление навигации на внутренних водных путях. Для обеспечения стабильной навигации в позднеосенний, зимний и ранневесенний периоды года требуется разрушение сплошного ледяного покрова с целью создания судоходного канала, в той или иной мере очищенного от битого льда. В морских акваториях вследствие увеличения добычи углеводородов на континентальном шельфе актуальной и важной задачей является обеспечение безопасности гидротехниче-

ских сооружений, таких как нефте- и газодобывающие платформы, что в свою очередь также связано с эффективным разрушением ледяного покрова.

Традиционные средства разрушения ледяного покрова обладают рядом недостатков. Использование ледоколов сопряжено с высокими энергетическими затратами, а во многих случаях, например на мелководье, и вовсе невозможно. Взрывной способ разрушения льда [3; 9], при котором во льду или на определенной глубине под ним устанавливаются заряды конденсированного взрывчатого вещества (тротил, аммонит), обладает низкой эффективностью, а также наносит серьезный вред экологии водоема. Аналогичные недостатки характерны для разрушения ледяного покрова путем бомбометания с самолетов. В данной работе рассматриваются способы и устройства локального разрушения ледяного покрова, основанные на использовании энергии взрыва газозвудушных смесей. По сравнению с конденсированными взрывчатыми веществами газозвудушные смеси обладают рядом таких достоинств, как меньшая стоимость и отсутствие губительного влияния на экологию водоема [11].

В работе рассматривается новое устройство для разрушения ледяного покрова, схематично изображенное на рис. 1, состоящее из цилиндра 1, направленного дном в сторону дна водоема. Цилиндр имеет каналы 4, в которых проложена гибкая система 5. Устройство приводится в движение с помощью двигателей 8 и камеры плавучести 9. Работа устройства осуществляется следующим образом: устройство, управляемое с передвижной станции по гибкой системе 5, включающей газовый шланг и электропровод, вплотную подводится к нижней поверхности льда. Поскольку лёд в области нижней поверхности имеет температуру, близкую к температуре плавления, и верхняя сторона стакана, контактирующая со льдом, обладает острыми краями, то устройство врежется в нижнюю поверхность ледяного покрова.

После установки устройства под локальную область ледяного покрова со станции по гибкой системе 5 поступает определенный объем воздушно-газовой смеси, вытесняющий воду из пространства под ледяным покровом, образуя газозвудушную подушку 10. Затем по этой же системе 3 подается искровой разряд в свечи 7. Происходит взрыв газозвудушной смеси. В результате взрыва происходит рост давления в замкнутом объеме и образуется ударная волна, что приводит к разрушению льда. После взрыва газ выходит через многочисленные отверстия 6 в боковой стенке стакана 1, устройство приходит в исходное состояние и перемещается подо льдом в новое место.

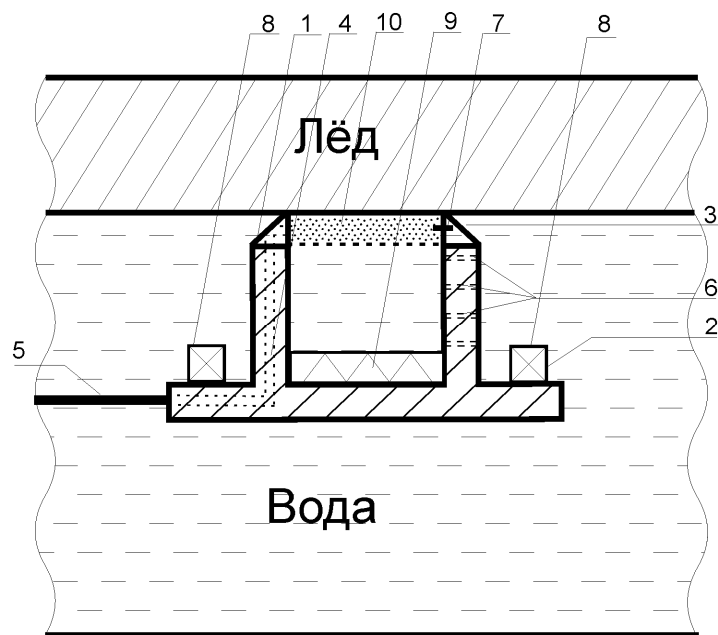


Рис. 1. Устройство для разрушения ледяного покрова

Математическая модель процесса

Расчетная схема процесса с учетом осевой симметрии представлена на рис. 2, где I – ледяной покров, II – цилиндр, III – вода, IV – газозвушная смесь. На лед сверху действует атмосферное давление p_1 . Периферийная область находится на значительном расстоянии от смеси III: $R_4 \gg R_3$. В области IV задается давление p_2 , которое зависит от состава смеси.

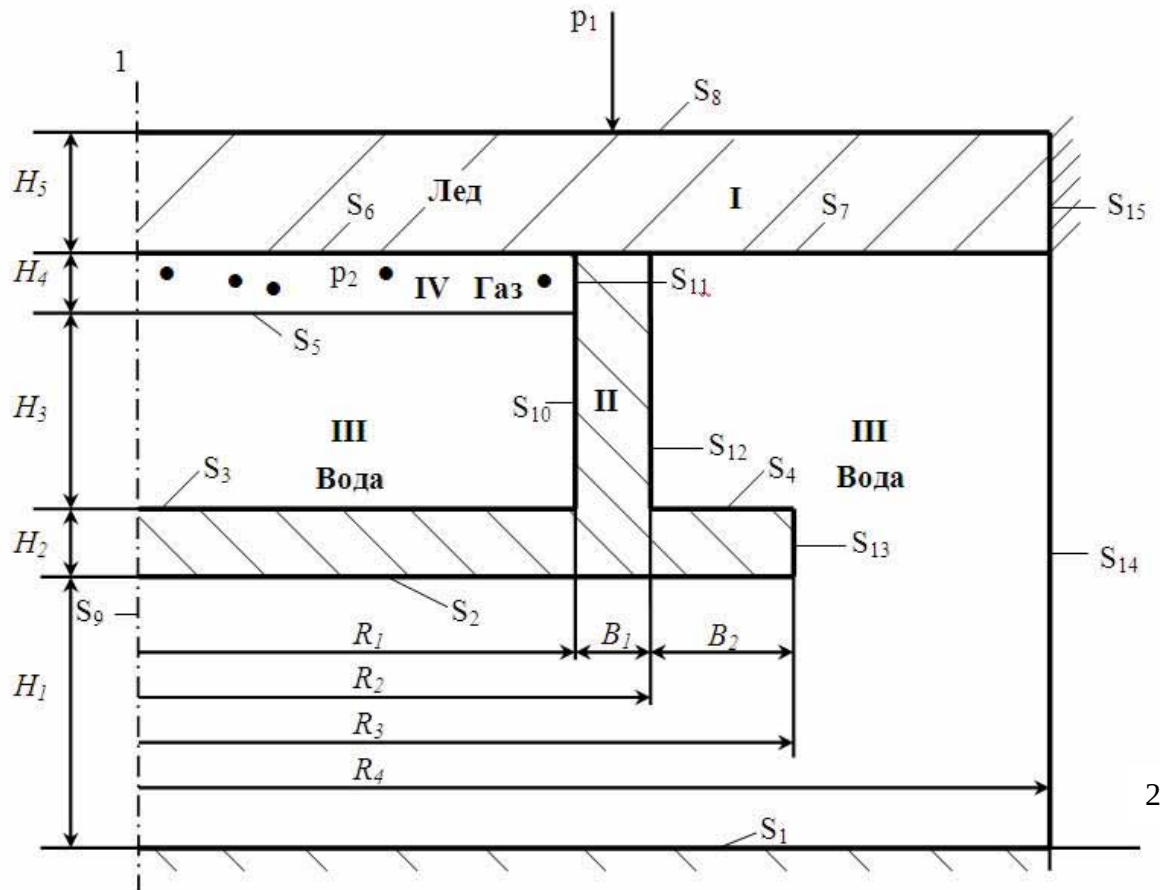


Рис. 2. Расчетная схема процесса

Далее запишем систему определяющих уравнений для областей I, II и III.

Длительность рассматриваемого процесса невелика и примерно равна времени сгорания газозвушной смеси, которое по данным [10] составляет 0,1 с. В этом случае можно принять [8], что лед (область I) ведет себя, как упругое тело, подчиняющееся закону Гука, и разрушается без возникновения существенных пластических деформаций. Кроме того, морской поликристаллический лед можно принять однородным и изотропным вследствие хаотичного расположения и ориентации зерен кристаллической решетки. Также примем лед несжимаемым. Аналогичные допущения будем использовать для цилиндра (область II). Таким образом, система уравнений в областях I и II в декартовой системе координат выглядит следующим образом: уравнение движения

$$\sigma_{ij,j} + F_i^t = \rho_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad i, j, k = 1, 2, 3, \quad t = I. \quad (1)$$

Закон Гука для несжимаемой среды

$$\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2(G)_t \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \quad t = I. \quad (2)$$

Уравнение несжимаемости

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

где $[\sigma_{ij}]$ – тензор напряжений; t – идентификатор области; F_i^t – проекция удельной объемной силы на координатные оси x_i , $i = 1, 2, 3$; ρ_t – плотность материала; V_i – проекция скоростей перемещений на координатные оси x_i , $i = 1, 2, 3$; τ – время; σ – гидростатическое напряжение; δ_{ij} – символ Кронекера; G_t – модуль сдвига в области t ; $[\varepsilon_{ij}]$ – тензор деформаций; в уравнениях имеет место суммирование по повторяющимся индексам.

Для малых деформаций справедливо равенство $\xi_{ij} = \frac{d\varepsilon_{ij}}{d\tau}$, где ξ_{ij} – компоненты тензора скоростей деформаций сдвига $\xi_{ij} = 0.5(v_{i,j} + v_{j,i})$. Отсюда $\varepsilon_{ij} = \int \xi_{ij} d\tau \cong \sum_m \xi_{ij} d\tau_m$, где m – номер временного шага.

Вода (область III) принималась вязкой, несжимаемой жидкостью. Система уравнений для области III:

- уравнение Навье-Стокса

$$F_i^t - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 v_i = \rho_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial \tau} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad i, k = 1, 2, 3, \quad t = II, \quad (4)$$

где p – давление; μ – коэффициент динамической вязкости; ∇^2 – оператор Лапласа;

- уравнение несжимаемости

$$v_{i,i} = 0. \quad (5)$$

Взрыв газовоздушной подушки (III) моделировался с помощью задания давления p_2 на поверхностях S_2, S_4, S_7 области III. Продолжительность процесса определялась толщиной газовоздушной подушки и скоростью горения смеси V_2 по формуле

$$\tau_2 = H_2 / v_2.$$

В ходе процесса давление p_2 изменялось от 0 до конечного давления P_2 по линейному закону. В качестве газовоздушной смеси принимался природный газ, а давление P_2 и скорость горения V_2 задавались с помощью экспериментальных данных [10].

Для построения численной схемы решения задачи системы уравнений (1) – (3) и (4), (5) приводились к единому виду в эйлеровой системе координат для областей I и II:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij,j} + F_i^t &= \rho_t \left(v_i + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad t = I, II, \\ \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} &= 2\lambda_t C_{ij}^t, \quad \begin{cases} \lambda_t = G_t; & C_{ij}^t = \varepsilon_{ij}; & t = I \\ \lambda_t = \mu; & C_{ij}^t = \xi_{ij}; & t = II \end{cases}, \\ v_{i,i} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Нетрудно проверить, что при подстановке уравнений $\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2\mu \xi_{ij}$ в уравнение движения при условии несжимаемости жидкости (5), а также при $\lambda_{II} = \mu$ получим уравнение (4).

Граничные условия с учетом осевой симметрии (см. рис. 2)

$$v_3 = 0; \quad \xi_{13} = 0; \quad \xi_{23} = 0; \quad \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0. \quad (7)$$

Давление на ледяную пластину

$$\sigma_{11}|_{S_7} = -p_1. \quad (8)$$

Условие непротекания на дне водоёма

$$v_1|_{S_1} = 0. \quad (9)$$

Давление взрыва газовой смеси

$$\sigma_{22}|_{S_{11}} = -p_2; \sigma_{11}|_{S_i} = -p_2, \quad i = 5, 6. \quad (10)$$

Условие на оси симметрии

$$v_2|_{S_9} = 0. \quad (11)$$

Условие на внешней границе расчетной области

$$\sigma_{22}|_{S_{14}} = -p_1 - \gamma_1 H_2 - \gamma_1 h; \quad (0 \leq h \leq H_1). \quad (12)$$

Для закрепления ледяной пластины с основой на поверхности S_8 задавался закон трения в виде

$$\sigma_{21}|_{S_{15}} = -\psi \sigma_s \frac{v_{ck}}{|v_u|}, \quad (13)$$

где V_{ck} – скорость скольжения области I относительно основы: $v_{ck} = v_1|_{S_{18}} - v_1^*$, v_1^* – скорость основы, $v_1^* = 0$, $|v_u|$ – нормирующая скорость; σ_s – условный предел текучести льда; ψ – коэффициент трения (принималось $\psi = 1000$). При этом скорость на поверхности S_8

$$v_2|_{S_8} = 0.$$

Трение на поверхностях контакта разных областей I, II, III, IV принималось равным нулю

$$\sigma_{21}|_{S_i} = 0, (i = 9, 14); \sigma_{12}|_{S_i} = 0, (i = 1, \dots, 8). \quad (14)$$

Начальные значения скоростей перемещений и деформаций по всем областям I, II, III принимались нулевыми

$$v_1 = 0; v_2 = 0; \varepsilon_{ij} = 0, \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (15)$$

Методика проведения численных расчетов

Для решения сформулированной системы уравнений (6) с учетом граничных (7) – (14) и начальных условий (15) были разработаны численная схема и алгоритм [5; 6] на основе апробированного численного метода [4; 7].

Задача решалась по шагам времени $\Delta\tau_m$, $\tau = \sum_m \Delta\tau_m$.

Результаты расчетов

При проведении численных расчетов использовались следующие значения физико-механических параметров льда: $G_1 = 29,2 \cdot 10^3$ кг/см², плотность $\rho_1 = 920$ кг/м³ [1]. Коэффициент динамической вязкости воды по данным [13] $\mu = 0,017608$ (г·с)/(см²), плотность воды: $\rho_2 = 1000$ кг/м³.

При анализе напряжений в ледяной пластине использовались следующие прочностные характеристики однолетнего морского зернистого льда:

- предел прочности льда на сдвиг [15]: $\sigma_u = 0,7$ МПа;
- предел прочности льда при растяжении [1]: $\sigma_p = 1,5$ МПа;
- предел прочности льда при сжатии [1]: $\sigma_c = 3$ МПа.

Основные геометрические параметры задачи варьировались следующим образом: радиус цилиндра R_1 : 1; 2; 3; 4 м, толщина газовой подушки H_4 : 2; 3; 4; 5 см, толщина льда H_5 : 1; 1,5; 2; 2,5; 3 м, толщина цилиндра H_2 : 0,1; 0,07; 0,05 м. Глубина акватории $H_1 = 10$ м. Радиус расчетной области $R_4 = 20$ м.

Для природного газа по данным [10] $p_c = 0,7$ МПа, $V_c = 1$ м/с.

Результаты проведенных расчетов приведены на рис. 3 – 6: виды эпюр скоростей v_1 , нормальных напряжений σ_{22}, σ_{11} и касательных напряжений σ_{21} при $\tau = 0,04$ с. При этом геометрические параметры принимали следующие значения: $R_1 = 2$ м, $H_2 = 4$ см, $H_3 = 2$ м, $H_4 = 0,1$ м. Видим (см. рис. 3), что в результате взрыва газовой смеси в области IV скорость ледяного покрова в центральной области ($R \approx 0$) выше, чем в периферийной ($R \approx R_1$), вследствие чего нижние слои льда сжимаются, а верхние растягиваются (см. рис. 4). Исходя из принятого критерия, в данном случае верхние слои ледяного покрова от возникающих напряжений разрушаются в радиусе $R_d \approx R_3 = 2,1$ м, в то время как нижние лишь в радиусе $R_d \approx 0,8$ м. Поскольку напряжения σ_{33} мало отличаются от напряжений σ_{22} , то можно предположить, что разрушение происходит как в радиальном, так и тангенциальном направлениях. Напряжения σ_{11} в ледяном покрове по модулю невелики и далеки от предела прочности по сжатию σ_c . Касательные напряжения σ_{21} во льду, как и ожидалось, достигают максимального значения при $R \approx R_1$.

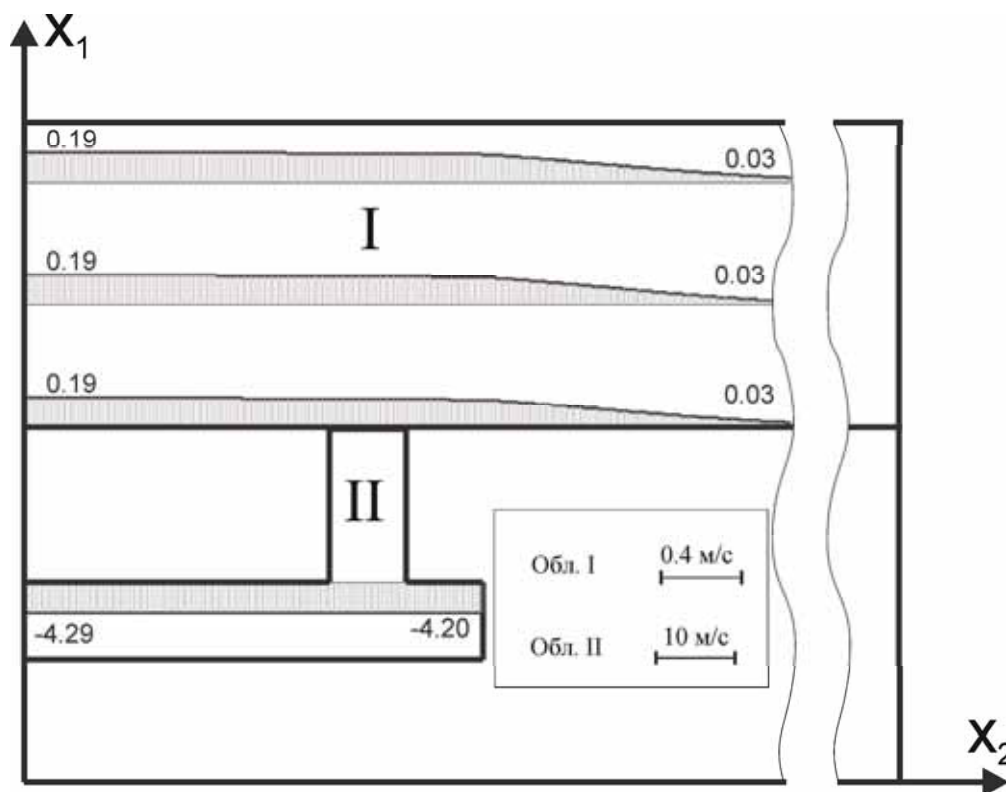


Рис. 3. Эпюры скоростей V_1

Результаты проведенных расчетов обобщены в табл. 1, в которой приведена зависимость радиуса R_d области разрушения от радиуса цилиндра, толщины газовой подушки и толщины льда. При этом в качестве R_d выбирается радиус области ледяного покрова, в которой соответствующие предельные значения напряжений достигаются как в верхних, так и в нижних слоях. Видим, что увеличение толщины газовой подушки и радиуса цилиндра приводит к существенному увеличению области разрушения. Максимальная

толщина разрушаемого льда достигает 3 м, при $R_1 = 4$ м. Толщина цилиндра H_2 на приведенную зависимость влияния практически не оказывает.

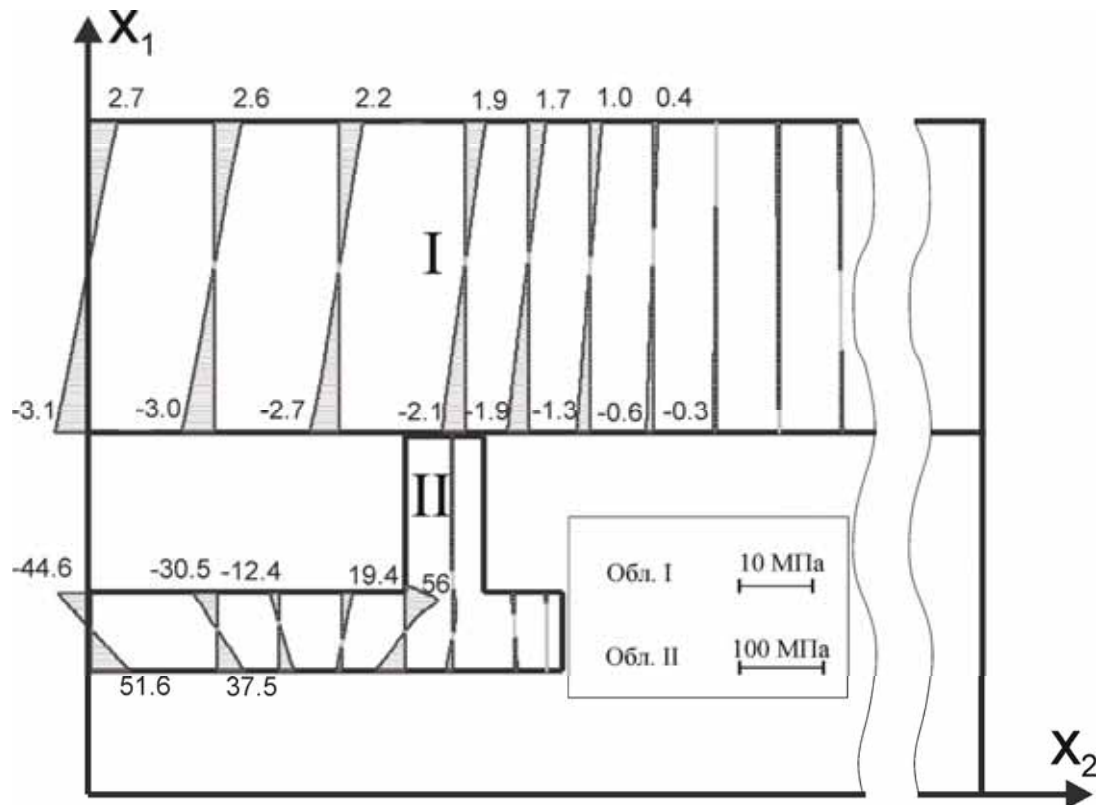


Рис. 4. Эпюры напряжений σ_{22}

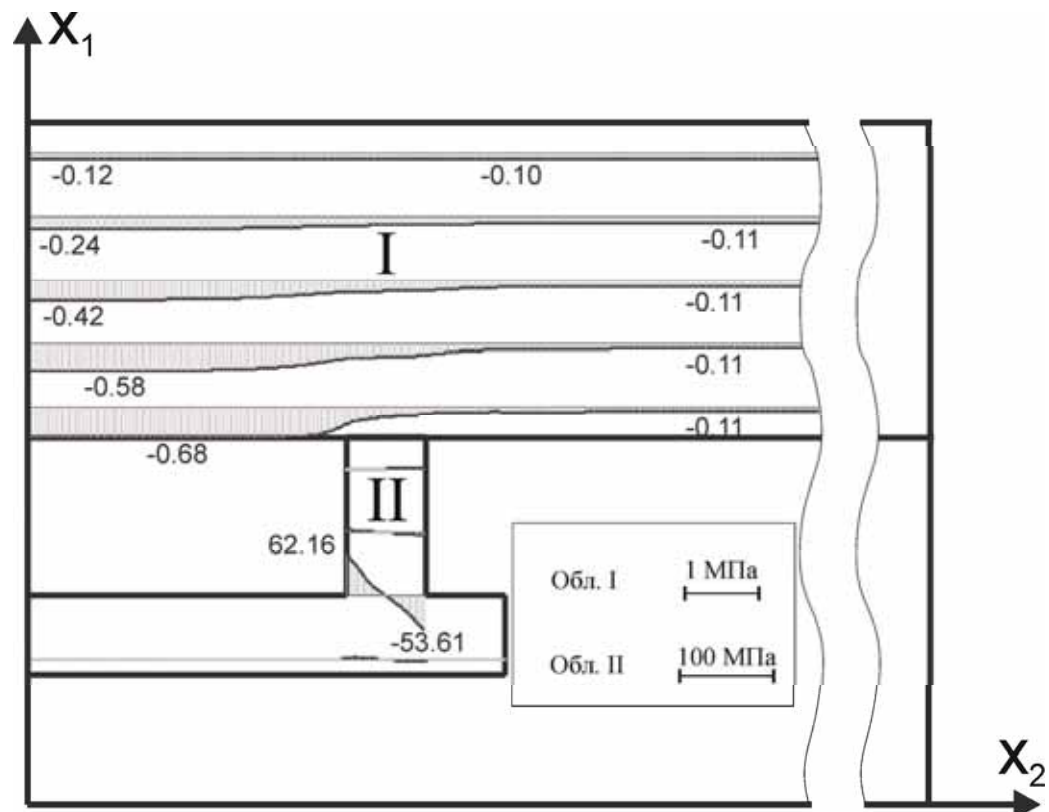


Рис. 5. Эпюры напряжений σ_{11}

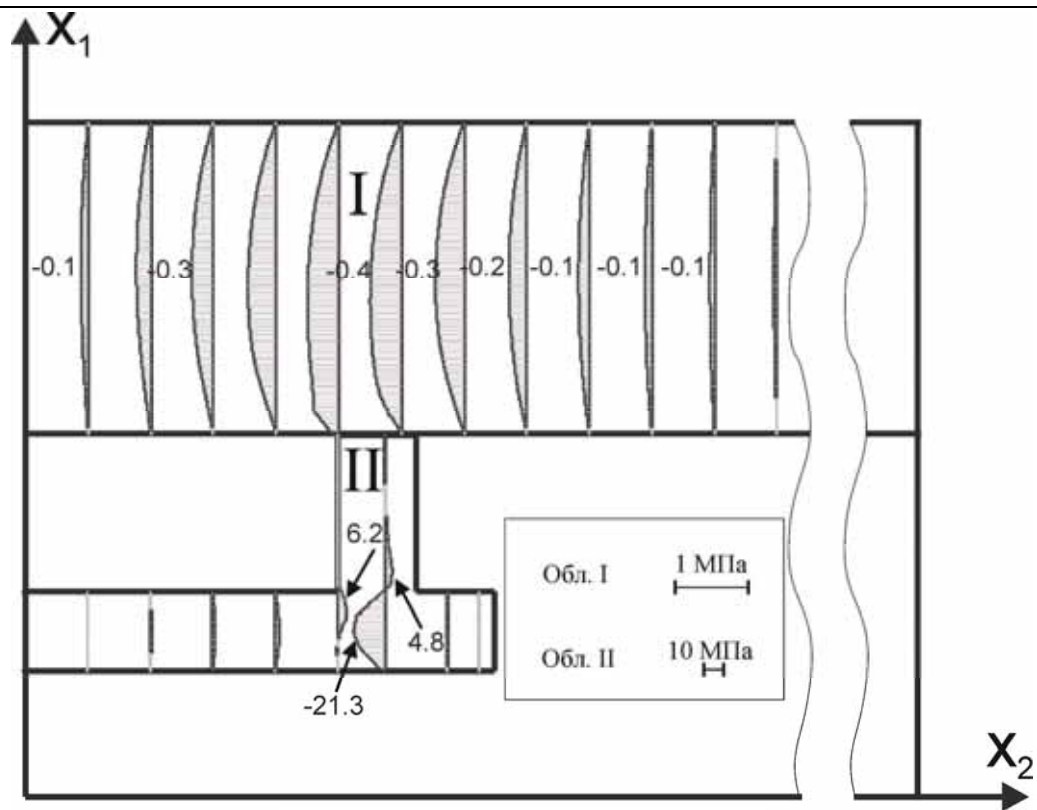


Рис. 6. Эпюры напряжений σ_{21}

Напряжения в цилиндре достигают высоких значений (см. рис. 4, 5, 6), которые тем не менее нигде при используемых геометрических параметрах R_1 , H_4 , H_5 , H_2 не выходят за предел текучести стали, который по данным [2] равен 300 МПа.

Таблица 1

Зависимость радиуса области разрушения R_d от радиуса цилиндра R_1 ,
толщины газовой подушки H_4 , толщины льда H_5

R_1 (м)	H_4 (м)	H_5 (м)	R_d (м)
1	0,4	1,0	0,2
1	0,5	1,0	0,6
2	0,2	1,0	2
2	0,2	1,5	1,6
2	0,3	1,0	2,4
2	0,3	1,5	1,6
2	0,4	1,0	2,4
2	0,4	1,5	2
2	0,4	2,0	0,8
2	0,5	1,0	2,4
2	0,5	1,5	2
2	0,5	2,0	1,6
3	0,2	1,0	3,5
3	0,2	1,5	3,1
3	0,2	2,0	1,8
3	0,3	1,0	3,6
3	0,3	1,5	3,5



Продолжение табл. 1

R_1 (м)	H_4 (м)	H_5 (м)	R_d (м)
3	0,3	2,0	3
3	0,3	2,5	1,8
3	0,4	1,0	3,6
3	0,4	1,5	3,5
3	0,4	2,0	3,1
3	0,4	2,5	2,4
3	0,4	3,0	1,2
3	0,5	1,0	4,0
3	0,5	1,5	3,6
3	0,5	2,0	3,1
3	0,5	2,5	3
3	0,5	3,0	1,8
4	0,2	1,0	4,5
4	0,2	1,5	4,1
4	0,2	2,0	4
4	0,2	2,5	3,2
4	0,2	3,0	1,6
4	0,3	1,0	4,6
4	0,3	1,5	4,5
4	0,3	2,0	4,2
4	0,3	2,5	4
4	0,3	3,0	3,2
4	0,4	1,0	4,6
4	0,4	1,5	4,5
4	0,4	2,0	4,2
4	0,4	2,5	4
4	0,4	3,0	3,2
4	0,5	1,0	5
4	0,5	1,5	5
4	0,5	2,0	4,6
4	0,5	2,5	4,5
4	0,5	3,0	4,2

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН (код проекта 09–II–УО–03–002).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский, В. В. Физические свойства. Современные методы гляциологии / В. В. Богородский, В. П. Гаврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 384 с.

Прокудин А. Н.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

2. Кроха, В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: справ. / В. А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
3. Матвейчук, В. В. Взрывные работы: учеб. пособие / В. В. Матвейчук, В. П. Чурсалов. – М.: Академический проспект, 2002. – 384 с.
4. Математическое моделирование сложных технологических процессов / В. И. Одинокоев [и др.]. – М.: Наука, 2008. – 176 с.
5. Одинокоев, В. И. Моделирование процесса разрушения ледяных заторов / В. И. Одинокоев, А. Н. Прокудин // Прикладная механика и техническая физика. – 2010. – Т. 51, № 1 – С. 110-116.
6. Одинокоев, В. И. Численное моделирование процесса деформации элементов конструкции в многокомпонентных системах под действием динамической нагрузки / В. И. Одинокоев, А. Н. Прокудин // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – Т. 3, № 4 – С. 80-95.
7. Одинокоев, В. И. Численное исследование процесса деформации материалов бескоординатным методом / В. И. Одинокоев. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 168 с.
8. Песчанский, И. С. Ледоведение и ледотехника / И. С. Песчанский. – Л.: Морской транспорт, 1963. – 343 с.
9. Поздняков, З. Г. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания / З. Г. Поздняков, Б. Д. Росси. – М.: Недра, 1977. – 253 с.
10. Равич, М. Б. Беспламенное поверхностное горение / М. Б. Равич. – М.-Л.: Изд-во академии наук СССР, 1949. – 354 с.
11. Орленко, Л. П. Физика взрыва / под ред. Л. П. Орленко. В 2 т. Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
12. Beltaos, S. (Editor) River ice jams – Water Resources Publications. Littleton. Colorado, 1995. – 372 p.
13. Beltaos, S. Progress in the study and management of river ice jams: review // Cold Regions Science and Technology. – 2008. – Vol. 51(1). – P. 2-19.
14. Timco G. W., W.F.Weeks A review of the engineering properties of sea ice // Cold regions science and technology. – 2010. – Vol. 60. – P. 107-129
15. Kingham, D. James; Adams, W.A. and McGuire, M.J. Viscosity measurements of water in region of its maximum density. Journal of Chemical & Engineering Data, 1974, Vol 19, No 1. – P. 1-3.
16. Prowse, T. D., Beltaos, S. Climatic control of river-ice hydrology: a review // Hydrological Processes. – 2002. – Vol. 16(4). – P. 805-822.

Свиридов А. В.
A.V.Sviridov

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

SOME PROPERTIES OF PLASTER MOULD CASTING



Свиридов Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr.Andrey V. Sviridov – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Foundry Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University.

Аннотация. В статье приводится краткое описание процесса изготовления литейных гипсовых форм, область их использования, достоинства и недостатки. Описано влияние различных факторов на свойства форм и качество получаемых отливок. Также отражены сведения об используемых формовочных материалах и приведены некоторые составы известных гипсовых смесей.

Summary. The paper presents a short description of the process of manufacturing plaster moulds, their applications, advantages and shortcomings. Characterized is the work of different factors and their impact on the moulds' properties and on the quality of the resulting casts. Also the authors have reviewed available data on molding materials in use and on the composition of certain well-known plaster blends.

Ключевые слова: гипсовая литейная форма, гипсовая смесь, цветное литье, художественное литье, ювелирное литье.

Key words: plaster mould, plaster blend, nonferrous castings, ornamental castings, jewelry casting.

УДК 621.74.045

Литье металлов и сплавов в гипсовые формы известно давно. Русские мастера-литейщики широко использовали гипс, в частности при отливке Царь-пушки, Царь-колокола и др. Обычно для этого в качестве наполнителя применяли толченый кирпич. В XIX в. гипсовую форму применяли в России для отливки оловянных и свинцовых скульптур. Также использование гипса было распространено в зубопротезной и ювелирной промышленности. Позднее, благодаря созданию таких огнеупорных материалов как шамот, диас, кристобалит и др., область использования гипсовых форм значительно расширилась, что позволило отливать промышленные и в частности художественные изделия практически любой сложности из различных цветных сплавов на основе Sn, Zn, Al, Cu, в том числе из драгоценных металлов.

Область применения литья в гипсовые формы весьма разнообразна. Это изготовление отливок из цветных сплавов различной конфигурации (корпусные детали, турбинные колеса со сложными лопатками и т.п.); зубопротезное производство (драгоценные сплавы); ювелирное и художественное литье.

К отличительным особенностям литья в гипсовые формы относят главным образом то, что гипс является как связующим веществом, так и огнеупорным наполнителем вместе с

другими материалами (шамот, диас, кристобалит); материалом литейной формы является жидкоподвижная самотвердеющая суспензия, а гипсовая форма изготавливается без уплотнения, что позволяет использовать модели из мягких материалов (пластилин, воск, резина и т.д.).

К достоинствам данного вида литья часто относят следующее: получение отливок с чистой поверхностью и высокой точностью, соизмеримыми с отливками, полученными литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением; простота технологического процесса получения отливки по модели-эталону, изготовленному из разных материалов (дерево, пластмасса, пластилин, любой металл и др.); малая теплопроводность форм и их достаточная прочность в холодном и горячем (до 800 °С) состояниях обеспечивает спокойное заполнение металлом сложных и тонкостенных отливок.

Из недостатков можно выделить ограниченность изготовления отливок только цветными металлами и сплавами с температурой плавления до 1300 °С; длительность сушки гипсовых форм; повышенный расход огнеупорных материалов; преобладающее использование ручных операций при изготовлении отливок; ограниченное применение использованных формовочных материалов [1].

Для гипсовой формы характерно то, что она может иметь одну или несколько поверхностей разъема или быть неразъемной. В первом варианте используют постоянную модель, например из металла, дерева, пластилина, резины и т.п. Во втором варианте используют удаляемую модель.

Этапы изготовления гипсовых форм, например по выплавляемым моделям, состоят в следующем. Модельный блок обезжиривают каким-либо растворителем. Стояк укрепляют на резиновом поддоне литниковой чашей вниз и устанавливают опоку. Гипсовую формовочную смесь приготавливают смешиванием в заданной пропорции воды, гипса, мелкодисперсных огнеупорных наполнителей и специальных добавок, улучшающих свойства смеси. Далее полученную массу заливают по краям опоки спокойной струей для предупреждения разрушения хрупкого блока моделей и замешивания воздуха. Опoку с залитой гипсовой смесью помещают на вибростол с вакуумной системой (остаточное давление 10^4 Па) и вибрируют три-четыре мин. После заполнения опоки и длительной выдержки на воздухе (несколько часов) ее ставят в печь литниковой чашей вниз и ведут выплавление моделей при 120 – 140 °С [1]. Время выплавления определяется размерами моделей и формы. При выплавлении значительная часть модельного состава впитывается формой, также в гипсе находится около 20 % кристаллизационной воды. Поэтому форму прокаливают при температуре не более 800 °С, время прокаливания зависит от размеров формы.

При схватывании гипсовая масса расширяется, что обеспечивает хороший отпечаток с модели. Расширение гипса при схватывании колеблется от 0,008 до 0,5 % и уменьшается при использовании малопрочных сортов гипса, снижении содержания гипса в смеси, увеличении водосодержания, применении песка и асбеста.

При нагреве и последующем охлаждении происходит усадка гипсовой формы. Причинами объемных изменений гипсовых форм при нагреве являются собственно термическое расширение и физико-химические процессы, происходящие при дегидратации и модификационных превращениях формовочных материалов.

Следует отметить, что при нагреве до 800 °С и более, с последующим охлаждением, усадка формы резко увеличивается и может достигать до 4 %. Это связано с полной потерей гипсом кристаллизационной воды и образованием ангидрида, который разлагается при нагреве выше 800 °С. Для снижения усадки применяют огнеупоры, расширяющиеся при нагреве. К ним относятся кварцевый песок, пылевидный кварц, кристобалит [2].

Составы гипсовых смесей зависят от требований, предъявляемых к отливке, ее массы, размеров и вида заливаемого сплава. Например, для получения малогабаритных художественных отливок, особенно ювелирных из драгоценных сплавов, используют в основном тонкодисперсные материалы, а в случае изготовления отливок повышенной массы и размеров в состав гипсовой смеси вводят наполнитель в виде огнеупорных песков с размерами зерен до 0,315 мм и более.

Часто применяют готовые гипсовые смеси с кристобалитом. В них также содержатся вещества, замедляющие схватывание гипсовой массы и удлиняющие период ее живучести. Например, в гипсовой массе «К-90» (Италия) замедлителями служат смесь борной кислоты и буры, в составах «Суперкаст» и «Сатинкаст» (США) – смесь буры и силикатов калия, натрия и магния. Химический состав этих смесей приведен в табл. 1, масс.% [1].

Таблица 1

Состав гипсовых смесей

Марка	B ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
«Суперкаст»	0,58	11,71	66,18	1,67	0,15	0,24	0,71	-	0,25	16,7
«К-90»	0,83	9,5	74,31	-	0,03	0,01	-	-	-	13,5
Сатинкаст	0,35	10,83	70,25	0,75	0,12	0,4	0,25	0,44	0,15	15,3

Литье металлов в гипсовые формы имеет свои особенности [3]. Так, детали из медных сплавов в гипсовые формы отливают сравнительно редко и главным образом те, которые трудно получить в керамических формах по выплавляемой модели из-за прогибания керамики при отливке деталей значительных габаритов и веса (10 – 20 кг и более). В данном случае режимы нагрева гипсовых форм и металла значительно отличаются от режимов, принятых при отливке тех же деталей в керамических формах. Например, керамические формы нагревают до температуры 600 – 700 °С, а для отливки аналогичных деталей в гипсовые формы они могут быть лишь слегка нагретыми (80 – 100 °С) или вовсе холодными, чтобы уменьшить или полностью устранить рыхлоту и пористость в отливках.

В гипсовых формах по постоянной модели из медных сплавов отливают также детали значительных габаритов и веса (до 20 – 25 кг), протяженностью до 500 мм.

Для отливки деталей из латуни ее обычно нагревают до температуры 950 – 980 °С, а при литье мелких деталей – до 1050 – 1070 °С. В этом случае часто используют центробежные машины. Кремнистую латунь необходимо заливать при возможно меньшей температуре металла, чтобы избежать образования ноздреватой поверхности отливок.

Магниевого сплавы способом точного литья отливают только в гипсовые формы и чаще всего по постоянной модели. Ввиду того что эти сплавы обладают довольно высокой жидкотекучестью, в гипсовых формах часто изготавливают тонкостенные, со значительной поверхностью отливки, такие, как волноводы, кронштейны, тонкостенные стержневые ящики, пресс-формы и пр. Причем мелкие детали отливают в горячие формы, а более массивные – в подогретые до 80 – 100 °С. Тонкостенные детали среднего веса (0,5 – 1 кг) и длиной до 0,5 м большей частью отливают в нагретые или очень горячие гипсовые формы. Металл на-

гревают до температуры 720 °С, а гипсовую форму до 150 – 200 °С.

При литье магниевых сплавов необходимо, чтобы составные части формы были тщательно подогнаны и между ними не было зазоров, и не происходило загорания магниевого сплава. Кроме того, для предупреждения окисления и образования загаров (черных налетов окиси на отливках) литниковое отверстие перед заливкой в него сплава припыливают смесью серного порошка и борной кислоты (50 % серы и 50 % борной кислоты) [3].

Анализируя практику приготовления и использования гипсовых смесей, можно сделать следующие выводы [3].

На свойства гипсовой формы влияют концентрация в смеси гипса, воды, различных видов связующих, огнеупорных наполнителей и их гранулометрического состава, обработка форм паром, температура сушки форм.

С увеличением количества гипса прочность формы растет, а при увеличении содержания воды – уменьшается. Введение связующих веществ повышает прочность в сыром и прокаленном состояниях, а использование огнеупорного наполнителя с комбинацией мелкой и крупной фракций увеличивает газопроницаемость и трещиностойкость гипсовых форм. Обработка гипсовых форм паром с повышенным давлением приводит к перекристаллизации гипса с образованием крупных округлых зерен, что снижает усадку формы после прокаливания и увеличивает ее газопроницаемость. При содержании в смеси 20 – 30 % гипса вид наполнителя практически не влияет на прочность формы. Для получения наибольшей прочности сушку форм необходимо производить при температуре 200 – 250 °С. Также следует уделять внимание пропорциям смешиваемых компонентов, которые должны быть просеяны и не должны содержать посторонних примесей [3].

Сокращение технологического цикла изготовления литейных гипсовых форм и улучшение их свойств без использования трудоемких операций будут способствовать более широкому применению данного вида точного литья в промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, В. Н. Специальные виды литья: учеб. пособие / под ред. В. С. Шуляка. – М.: МГИУ, 2007. – 316 с.
2. Ефимов, В. А. Специальные способы литья: справ. / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович [и др.] / под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
3. Кестнер, О. Е. Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы / О. Е. Кестнер, В. К. Бураданьянц. – М.: Машиностроение, 1973. – 287 с.

Димитрюк О. К., Танкова С. Г.
O.K.Dimitryuk, S.G.Tankova

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ

ANALYSIS AND STUDY OF LOCATION CHARTS



Димитрюк Олег Калинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Oleg K. Dimitryuk – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University.



Танкова Светлана Геннадьевна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Ms.Svetlana G.Tankova – PhD in Engineering, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University.

Аннотация. Задачи достижения требуемой точности при изготовлении деталей машин решают правильным выбором технологических баз. На основе исследования и тщательного изучения авторы предлагают методику решения поставленных задач.

Summary. The task of ensuring the required precision level during manufacture of parts and units is accomplished by choosing the right processing datum axis. Following the study and a detailed analysis of the problem, the authors of the paper propose their method of achieving the goal.

Ключевые слова: точность, базирование, опорная точка, установочная база.

Key words: precision, location, reference point, base.

УДК 621.941.06

В настоящей работе рассматриваются вопросы, возникающие в процессе разработки технологических процессов механической обработки заготовок и изготовления деталей различных механизмов, в частности вопросы достижения требуемой точности изготовления деталей машин. При этом первостепенное внимание должно быть обращено обеспечению точности взаимного положения поверхностей детали. Такая задача решается правильным выбором технологических баз и разработкой схем базирования. Однако необходимо отметить недостаточно полное освещение данного направления в технической литературе. На основе исследования и тщательного изучения предлагается методика решения поставленных задач.

Технологу в работе приходится самому разрабатывать схемы базирования или рассматривать уже составленные. Для лучшего усвоения и правильного решения таких задач предлагается следующая методика. Решая, какую степень свободы лишает каждая опорная точка, для чего она нужна, что обеспечивает, принимаем следующие правила:

Правило 1. Исследуемую (рассматриваемую) опорную точку перемещают в направлении её угла $\downarrow \wedge \uparrow$ (направление перемещения показано стрелками).

Правило 2. Опорная точка, которую рассматривают первой на технологической базе, лишает заготовку перемещения вдоль координатной оси, остальные точки считаются отсутствующими.

Правило 3. При исследовании последующих опорных точек предыдущие точки считаются неподвижными.

Анализ схемы базирования рассмотрен на примере 1 (см. рис. 1, а).

Исследуем опорную точку 1. Опорную точку 1 мысленно перемещаем в направлении угла, точка перемещает заготовку, а соответственно и лишает степень её свободы в направлении оси Z и обеспечивает положение заготовки относительно режущего инструмента, т.е. в зоне его работы.

Исследуем опорную точку 2. Опорную точку 2 мысленно перемещаем в направлении ее угла, точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг точки 1 или вокруг оси, параллельной оси OX , и обеспечивает перпендикулярность поверхности β_1 относительно установочной базы.

Исследуем опорную точку 3. Опорную точку 3 мысленно перемещаем в направлении её угла, точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг оси, проходящей через точки 1 и 2, т.е. вокруг оси, параллельной оси OY , и обеспечивает перпендикулярность поверхностей β_1' относительно установочной базы.

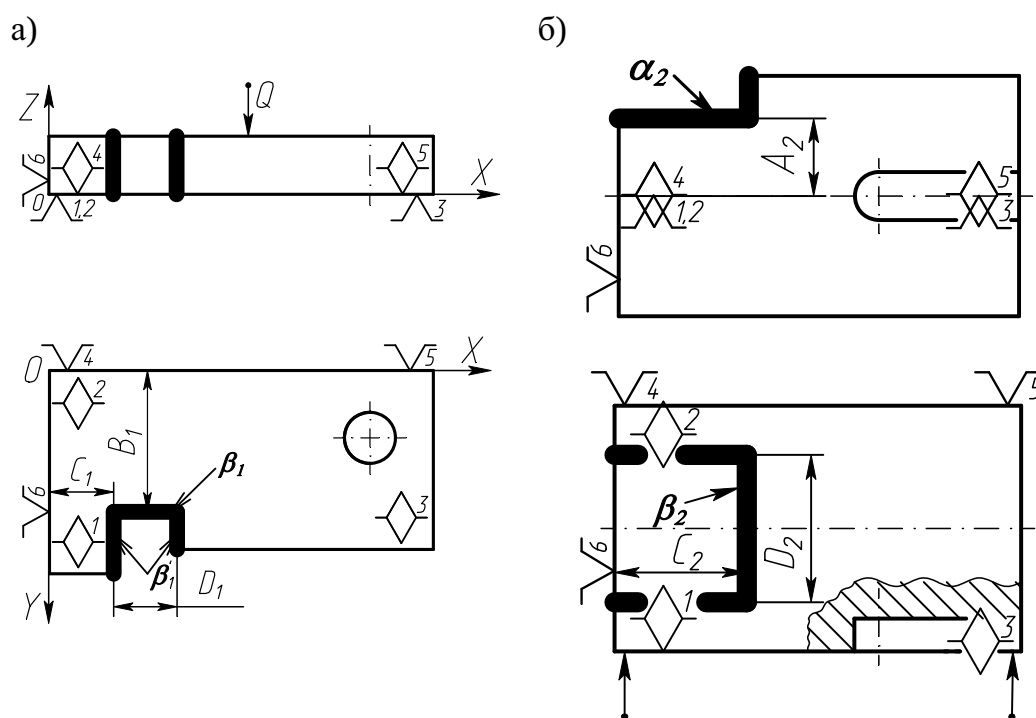


Рис. 1

Исследуем опорную точку 4. Опорную точку 4 мысленно перемещаем в направлении её угла, точка перемещает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вдоль оси Y и обеспечивает размер B_1 .

Исследуем опорную точку 5. Опорную точку 5 мысленно перемещаем в направлении её угла. Точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг точки 4, т.е. вокруг оси, параллельной оси OZ , и обеспечивает параллельность поверхности



β_1 относительно направляющей базы или перпендикулярность поверхностей β_1' относительно этой же направляющей базы.

Исследуем опорную точку 6. Опорную точку 6 мысленно перемещаем в направлении её угла. Точка перемещает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вдоль оси X и обеспечивает размер C_1 .

В результате исследования выясняется необходимость каждой опорной точки, и для каких целей она необходима при механической обработке соответствующих поверхностей.

Анализ схемы базирования рассмотрен на примере 2 (см. рис. 1, б).

Исследуем опорную точку 1. Опорную точку 1 мысленно перемещаем в направлении угла, точка перемещает заготовку, а соответственно лишает степень её свободы в направлении оси Z и обеспечивает размер A_2 .

Исследуем опорную точку 2. Опорную точку 2 мысленно перемещаем в направлении её угла, точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг точки 1 или вокруг оси, параллельной оси OX , и обеспечивает параллельность поверхности α_2 относительно установочной базы.

Исследуем опорную точку 3. Опорную точку 3 мысленно перемещаем в направлении её угла, точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг оси, проходящей через точки 1 и 2, т.е. вокруг оси, параллельной оси OY , и обеспечивает параллельность поверхности α_2 относительно установочной базы.

Исследуем опорную точку 4. Опорную точку 4 мысленно перемещаем в направлении её угла, точка перемещает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вдоль оси U и обеспечивает положение заготовки относительно режущего инструмента, т.е. в зоне его работы.

Исследуем опорную точку 5. Опорную точку 5 мысленно перемещаем в направлении её угла. Точка поворачивает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вокруг точки 4, т.е. вокруг оси, параллельной оси OZ , и обеспечивает перпендикулярность поверхности β_2 относительно направляющей базы.

Исследуем опорную точку 6. Опорную точку 6 мысленно перемещаем в направлении её угла. Точка перемещает заготовку, а следовательно, лишает степень её свободы вдоль оси X и обеспечивает размер C_2 .

В результате исследования выясняется необходимость каждой опорной точки, и для каких целей она необходима при механической обработке соответствующих поверхностей в примере 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакшин, Б. С. Теория и практика технологии машиностроения: в 2 кн. Кн. 2: Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1982. – 367 с.
2. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 35 с.
3. Разработка системы базирования: методические указания / сост. О. К. Димитрюк. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре политехн. ин-т, 1985. – 31 с.

Петров В. В., Тютина Е. А., Шpileва А. А.
МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИМЕР-СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ГРАНУЛИРОВАННЫМИ НАНОПОРОШКАМИ

Петров В. В., Тютина Е. А., Шpileва А. А.
V.V. Petrov, E.A. Tyutina, A.A. Shpileva

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИМЕР-СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ НАНОПОРОШКАМИ

MODIFICATION OF POLYMER-SILICATE MATERIALS BY GRANULATED NANO- POWDERS



Петров Виктор Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология переработки нефти и газа» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8(4217)24-71-11.

Mr. Victor V. Petrov – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Processing Technologies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomlsk-on-Amur) 681021, Komsomolsk-on-Amur, ul. Lenina, 27, tel.: (84217) 247111.



Тютинa Елена Анaтольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8(4217)24-71-11. E-mail: etyutina@mail.ru.

Ms. Yelena A. Tiutina – Doctor in Engineering, Associate Professor, Department of Oil and Gas Processing Technologies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomlsk-on-Amur) 681021, Komsomolsk-on-Amur, ul. Lenina, 27, tel.: (84217) 247111; etyutina@mail.ru



Шpileва Анна Анaтольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8(4217)24-71-11. E-mail: shpilanna@mail.ru.

Ms. Anna A. Shpileva – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Materials and New Materials Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomlsk-on-Amur) 681021, Komsomolsk-on-Amur, ul. Lenina, 27, tel.: (84217) 247111; shpilanna@mail.ru

Аннотация. Рассматривается процесс модифицирования полимер-силикатного связующего путем дробления гранулированных нанопорошков до размеров менее 100 нм и равномерного их распределения в полимерной матрице, тем самым достигается получение эксфолиированной системы.

Summary. We consider the process of modifying the polymer-silicate binder by crushing of granular powders to a size less than 100 nm and a uniform distribution in the polymer matrix, thus attained to obtain exfoliated system.

Ключевые слова: литейное производство, стержневые смеси, полимерные пленки, жидкое стекло, ультрадисперсные порошки, диспергирование.

Key words: foundry, core mixture, polymer films, waterglass, ultrafine powders, dispersion.

УДК 621.762.244

На сегодняшний день в литейном производстве в качестве связующих, противопригарных композиций, клеев, лаков, красок и т.д. применяется более 40 видов материалов: не-

органических (жидкое стекло, формовочные глины, цементы, фосфаты и др.), органических (синтетические смолы, полимеры, полисахариды и др.) и органоминеральных (гидросил, силикопек, оргасил и др.). По реологическим характеристикам все эти составы можно условно разделить на лаки (низкая вязкость), краски (относительно низкая вязкость) и мастики (относительно высокая вязкость). В материалах с консистенцией мастики концентрация наполнителей варьируется в пределах примерно 0,3 – 0,5 масс. долей, в красках 0,1 – 0,3, для лаков концентрация наполнителя менее 0,2 масс. долей. Вместе с тем, в литературе описание систематических исследований влияния формы, размера и распределения частиц наполнителя на свойства основы композиции практически отсутствует. Решение этой задачи и явилось целью настоящей работы.

Первые попытки создания нанокомпозиций были на основе полимеров и алюмосиликатов и проводились в 50-х гг. прошлого столетия. Однако введение до 0,4 – 0,5 (масс.) глин (бентонит, гекторит и др.) не привело к улучшению свойств полимерного материала и прежде всего из-за неудовлетворительного диспергирования силикатного наполнителя. Значительный прогресс в создании полимер-силикатных нанокомпозитов с улучшенными физическими и механическими свойствами, по сравнению с исходным полимером и традиционными дисперсно-наполненными композитами, был достигнут лишь в 90-х гг. [1]. Чтобы добиться существенного улучшения свойств полимерного материала, необходимо достигнуть равномерного распределения наночастиц в полимерной матрице. Наибольших изменений физико-химических свойств можно ожидать при введении в полимерную матрицу анизометричного наноразмерного наполнителя. Значительной анизометрией обладают частицы наноксидов алюминия (см. рис. 1).

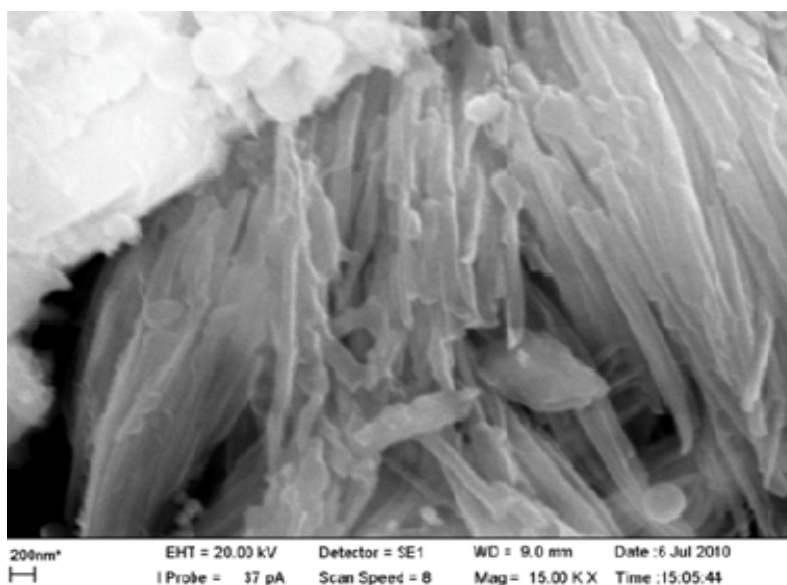


Рис. 1. Форма наноразмерного наполнителя – оксида алюминия

Для создания полимер-силикатных материалов используется способность частиц наполнителя интеркалировать в межслоевое пространство мономеров и полимеров с последующим расслоением (эксфолиацией) частиц наполнителя на монослои толщиной до 1 нм, тем самым достигается диспергирование наночастиц в полимерной матрице и получение эксфолиированной системы [2].

В качестве объектов исследования использовали жидкое натрий-силикатное стекло по ГОСТ 13078-81 с силикатным модулем 2,4 и плотностью 1,49 г/см³, для стабилизации суспензии применяли органический полимер с плотностью 1,56 г/см³, в качестве наполнителя использовали гранулированный нанопорошок оксида алюминия по ГСО 7912-2001 с насыпной плотностью 67 м²/г (см. рис. 2).

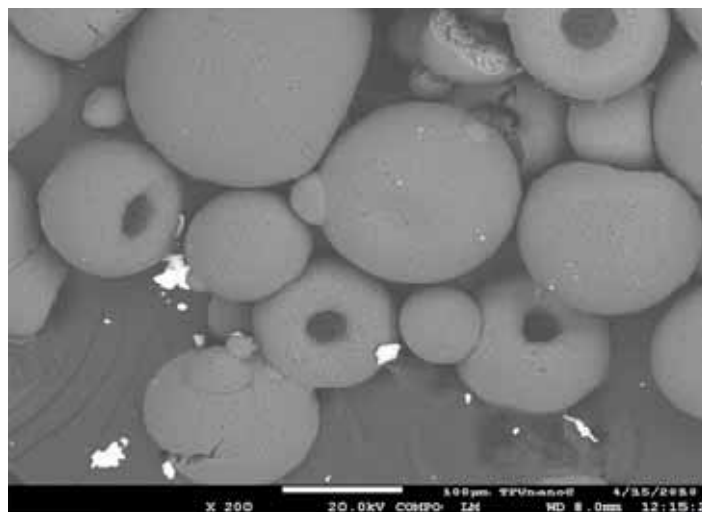


Рис. 2. Гранулы наполнителя для жидкостекольной композиции – оксид алюминия (увел. 200×)

В жидкое стекло было введено 0,04 – 0,05 масс. долей гранулированного наполнителя. Для создания наноматериала требуется эффективное диспергирование и, что очень важно, получение равномерного распределения наночастиц в жидкости [2]. Для преодоления силы связей после смачивания порошка жидкостью необходимы эффективные способы деагломерации и диспергирования.

Первым способом деагломерации гранул был выбран способ механического перемешивания полимера с наполнителем в течение 10, 15, 25 мин и метод магнитного перемешивания композиции в течение 25, 50, 75 мин.

В результате испытаний способ механического перемешивания не показал какого-то значительного эффекта в растворении гранулы (см. рис. 3). Данный способ показывал нужные результаты только после отстаивания композиции в течение 168 ч, а затем перемешивания в течение 20 – 25 мин (см. рис. 4).

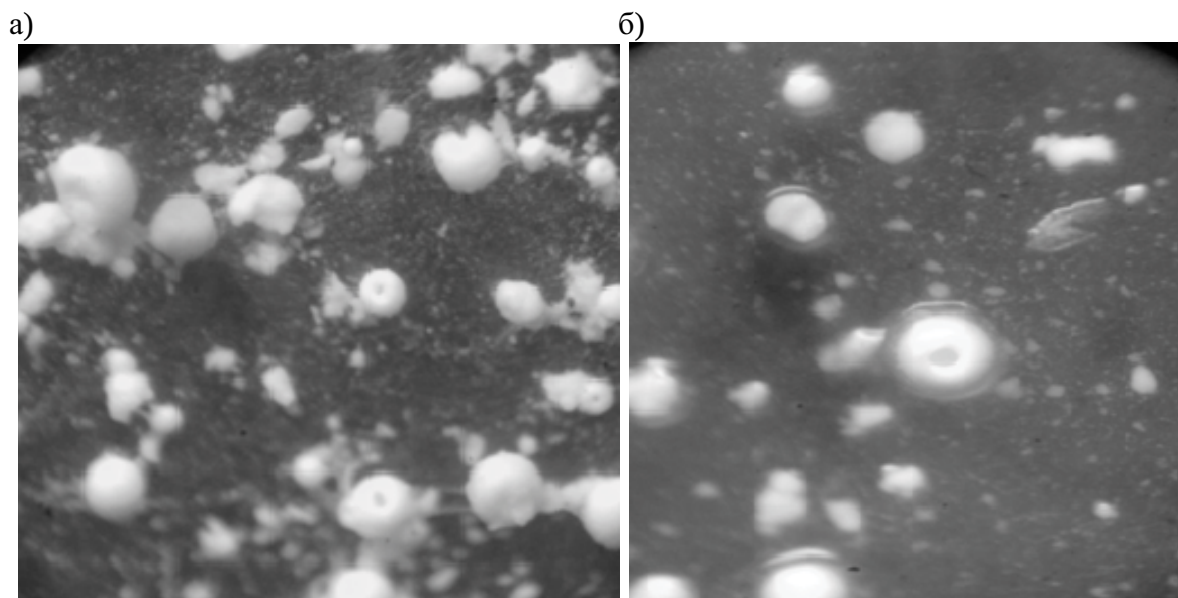


Рис. 3. Влияние механического перемешивания на деагломерацию гранул наполнителя в структуре жидкостекольной пленки (увел. 200×):
а – перемешивание в течение 10 мин; б – перемешивание в течение 25 мин

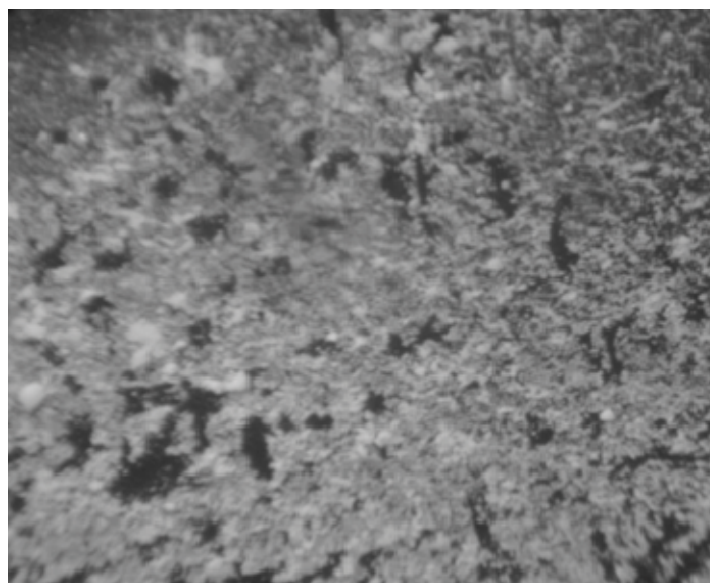


Рис. 4. Влияние продолжительности отстаивания композиции на деагломерацию наполнителя в структуре жидкостеклянной пленки (увел. 400×)

При магнитном перемешивании видимые изменения структуры пленок наблюдались у композиций, подвергшихся обработке в течение 50 мин, дальнейшая обработка не дала видимых улучшений структуры, в ней также наблюдаются нерастворившиеся гранулы наполнителя (см. рис. 5).

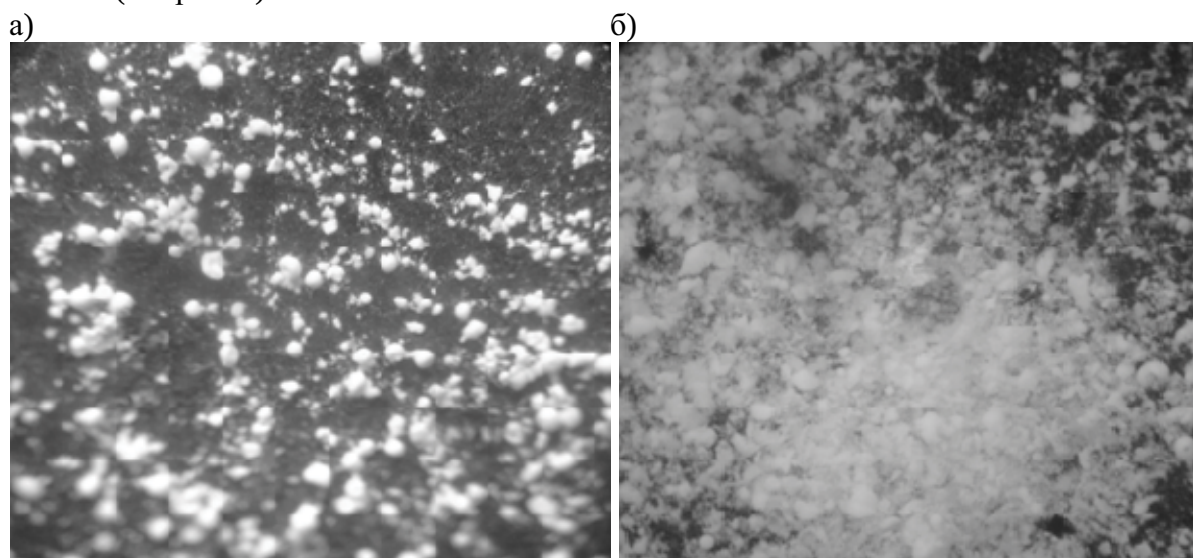


Рис. 5. Структура пленки после перемешивания композиции на магнитной мешалке:
а – в течение 50 мин; б – в течение 75 мин

Второй способ – воздействие ультразвукового поля на гранулы сухого порошка и наложение ультразвука на жидкостеклянную композицию. В результате испытаний было установлено, что воздействие на сухие гранулы ультразвука не дает видимого эффекта, гранулы дробятся, и их очень сложно ввести в таком виде в раствор. А вот наложение ультразвука мощностью до 3 кВт с частотой 20 кГц на жидкостеклянную композицию дает видимый эффект уже при 20 мин. Микроструктурный анализ показал, что в пленке агломератов не наблюдается, структура ровная, распределение равномерное (см. рис. 6, а), но при переходе на

наноразмерный уровень стало очевидно, что эксфолиации частиц на размер менее 100 нм не произошло (см. рис. 6, б).

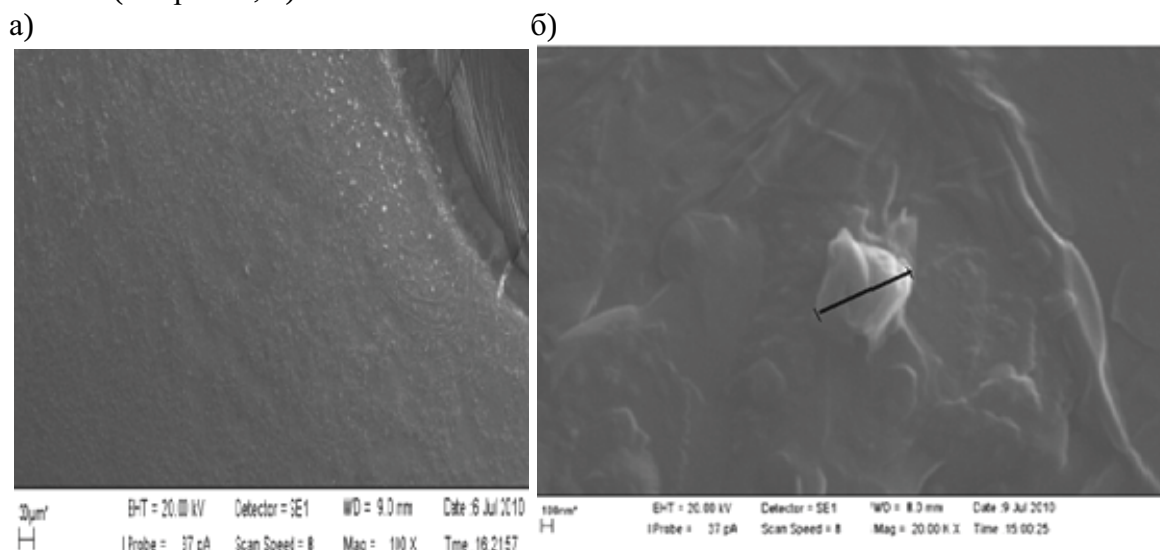


Рис. 6. Структура пленки жидкостекольной композиции после наложения ультразвука:
а – увел. 100×; б – увел. 20 000×

Третьим методом был использован метод обработки жидкостекольной композиции наносекундными электромагнитными импульсами мощностью 15 кВт с частотой 1000 Гц в течение 15 мин. Результаты показали достаточно высокую эффективность данного способа и на микро- и на наноуровне (см. рис. 7). Данный метод позволил за счет процесса расслоения получать волокна наполнителя размером в длину 260 – 300 нм, а в ширину 5 – 6 нм. Тем самым было достигнуто диспергирование наночастиц в полимерной матрице и получена эксфолированная система.

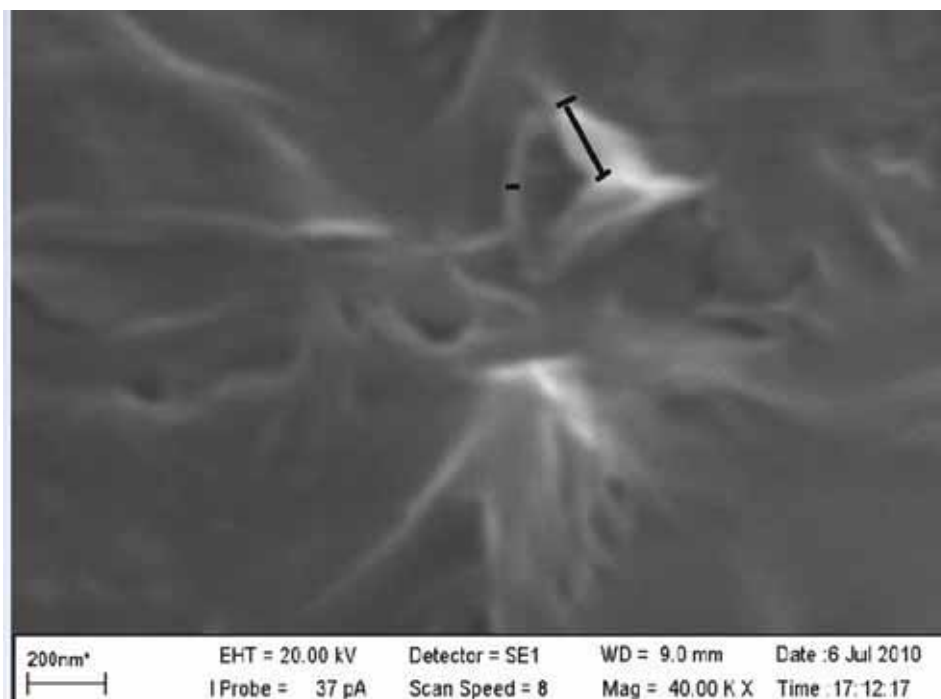


Рис. 7. Эксфолиация гранулы наполнителя до наноразмерного уровня (увел. 40 000×)

Исследование влияния наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ) на дезинтеграцию агломератов в жидкостекольных суспензиях позволит более широко использовать по-

тенциал наноматериалов. Исследования дисперсий агломератов наночастиц в жидкой фазе с различным содержанием твердой части продемонстрировали значительные преимущества НЭМИ по сравнению с другими технологиями, такими как механоактивация и ультразвук.

Для исследования свойств пленок, получаемых методом отлива на подложку жидкостекольных композиций, использовали синхронный термоанализатор STA 409 Luxx. Термогравиметрический анализ (ТГА) использовался для того, чтобы охарактеризовать термическую стабильность полученного нанокompозита. Потеря массы полимера вследствие улетучивания продуктов, образующихся при термическом разложении, измерялась как функция от подъема температуры, наличие в газовой среде кислорода дало возможность протекания реакций окислительного разложения.

Термостабильность пленки нанокompозита с содержанием 0,05 масс. долей оксида алюминия была продемонстрирована в сравнении с ненаполненным сшитым жидким стеклом. Эксперимент показал, что разница между температурами, при которых достигалась 50%-ная потеря массы наполненной и ненаполненной композиции, составляла ≈ 110 °C (см. рис. 8).

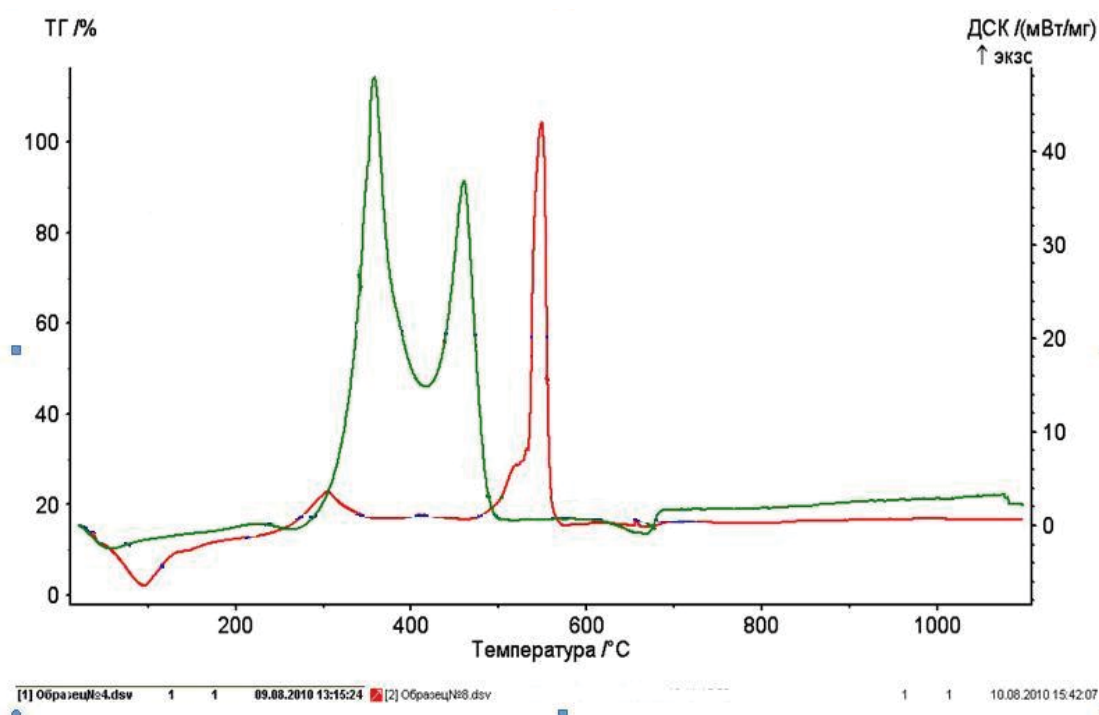


Рис. 8. Термогравиметрический анализ пленки нанокompозита в сравнении с ненаполненным сшитым жидким стеклом

Предполагается, что значительное улучшение термостойкости нанокompозита достигается за счет осложненной диффузии летучих продуктов разложения как прямого результата затрудненной проходимости, свойственной для слоистых нанокompозитов [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Полимерные нанокompозиты на основе органо-модифицированных слоистых силикатов – новый тип конструкционных материалов / М. А. Микитаев [и др.] // II Международная конференция «Новые полимерные композиционные материалы». – Нальчик, 2005.
2. Романовский, Б. В. Нанокompозиты как функциональные материалы / Б. В. Романовский, Е. В. Машина // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Т. 8. – № 2. – С. 50-55.
3. <http://www.nsu.ru/asf/phnews/digest20051020/Materials.html#Improvepolymers> – «Техника распределения улучшает полимеры».
4. Serge Bourbigot e.a. Investigation of Nanodispersion in Polystyrene-Montmorillonite Nanocomposites by Solid-State NMR. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, Vol. 41, 3188-3213 (2003).

Злыгостев А. М., Сарилов М. Ю., Линёв А. С.

**РОЛЬ ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА И МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ**

Злыгостев А. М., Сарилов М. Ю., Линёв А. С.

A. M. Zlygostev, M. U. Sarilov, A. S. Linev

**РОЛЬ ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА И МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ**

**ROLE OF PLASMA CHANNEL AND MECHANISMS OF HEAT TRANSFER
IN THE TREATMENT OF ELECTRIC**

Злыгостев Алексей Михайлович – кандидат технических наук, руководитель группы ЭМО НПО ОАО «Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение» (Россия, Комсомольск-на-Амуре); (4217) 22-47-45;

Zlygostev Alexey Mihajlovich – Ph.D., head of EMI NGOs, Komsomolsk-on-Amur Aircraft Production Association (Russia, Komsomolsk-on-Amur); (4217) 22-47-45

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Mr. Mikhail Yu. Sarilov – Ph.D., professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Линёв Александр Сергеевич – бакалавр техники и технологии Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: uranus_123@mail.ru.

Linev Alexander Sergeevich – Bachelor of "engineering and technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: uranus_123@mail.ru.

Аннотация. В статье рассмотрены физический смысл и закономерности существования плазмы при электроискровой обработке, поведение плазмы в электрическом и магнитном поле. Рассмотрена роль плазменного столба в процессах переноса электрической и тепловой энергии при электроискровой обработке. Показано, что с помощью наложения внешнего электромагнитного поля можно повышать точность электроискровой обработки.

Summary. In article are considered physical sense and laws of existence of plasma at electrosark processing, behaviour of plasma in electric and a magnetic field. The role of a plasma column is considered during carry electric and by thermal energy at electrosark processing. It is shown, that with the help of imposing of an external electromagnetic field it is possible to raise accuracy of electrosark processing.

Ключевые слова: теплота, электрон, электроэрозия, плазма, канал, поле, энергия, теплогенерация, анод, катод.

Key words: heat, an electron EDM, plasma, feed, field, energy, heat logeneratsiya, anode, cathode.

УДК 621.9. 048.4

Основные положения физики процесса электроэрозионной обработки (ЭЭО) базируются на фундаментальных исследованиях отечественных и зарубежных ученых [1 – 6]. На базе этих работ удалось создать широкий спектр технологических процессов, оснатив их высокопроизводительным современным оборудованием. Большое внимание при этом уделено точностным характеристикам процесса обработки за счет повышения динамических характеристик оборудования, расширения диапазона технологических режимов, подбора состава и структуры электродных материалов, использования возможностей автоматизации процесса обработки.

Большим количеством экспериментальных данных установлено [7], что при наложении на межэлектродный промежуток (МЭП), заполненный диэлектрической жидкостью

определенного напряжения U_{np} , происходит электрический пробой промежутка, то есть образование в диэлектрике электропроводной области в результате ударной лавинообразной ионизации атомов среды за время порядка 10^{-7} с. Напряжение пробоя связано с напряженностью электрического поля и величиной МЭП соотношением:

$$U_{np} = aE_{np},$$

где a – расстояние между электродами.

При прочих равных условиях величина U_{np} зависит от свойств жидкого диэлектрика.

В результате образования на катоде электронной лавины – стримера, последний, перемещаясь к аноду, испаряет и ионизирует на своем пути жидкость. К моменту достижения анода стример оказывается отделенным от окружающей среды паро-газо-плазменной оболочкой. Далее подача электрической энергии в зону разряда происходит по плазменному каналу, состоящему в основном из водородной плазмы, которая и является рабочим органом в процессе обработки. Энергетические, пространственно-временные характеристики плазменного канала, а также возможности их регулирования применительно к различным технологическим процессам ЭЭО представляют определенную научную задачу.

Для более детального представления об этом участке электрической цепи в системе электроэрозионной обработки рассмотрим физический смысл и некоторые закономерности существования плазмы как одного из состояний вещества [8].

При высокой степени ионизации газ приобретает особые электрофизические и физико-химические свойства, что дает основание рассматривать ионизированный газ как четвертое агрегатное состояние – плазму. Газоразрядную плазму успешно применяют как активный технологический фактор, например, в процессе электроимпульсной размерной обработки. В общем случае можно считать, что плазма представляет собой смесь трех компонентов: свободные электроны, положительные ионы и нейтральные атомы (или молекулы). Электрические силы, связывая разноименные заряды в плазме, обеспечивают ее квазинейтральность, т. е. приблизительное равенство концентраций ионов и электронов. Всякое разделение зарядов, обусловленное смещением электронов относительно ионов, должно приводить к возникновению электрических полей, стремящихся скомпенсировать возникшее возмущение; эти поля растут с увеличением концентрации частиц и в случае плотной плазмы достигают очень больших значений.

В плазме среди различных видов взаимодействия частиц наиболее важное значение имеют столкновения между электронами и ионами; они определяют, в частности, механизм таких процессов, как прохождение электрического тока и диффузия.

Остановимся теперь на вопросе об обмене тепловой энергией между электронами и ионами в плазме. Например, быстрый электрон с импульсом $h = m_e v_e$ движется мимо неподвижного иона и испытывает рассеяние на угол Θ . При этом иону передается импульс $\Delta p = 2p \sin \frac{\Theta}{2}$. Под действием этого импульса ион приходит в движение, приобретая кинетическую энергию

$$\Delta W = \frac{(2p \sin \Theta / 2)^2}{2m_i}.$$

Характеристикой плазмы служат два параметра – концентрация n и температура T . В общем случае электронная n_e и ионная n_i концентрации не равны между собой, так как в плазме могут присутствовать не только однозарядные, но и многозарядные ионы. Однако всегда сохраняется равенство электронной и суммы ионных концентраций. Также в общем случае в плазме следует различать две температуры: электронную T_e , которая значительно превосходит ионную T_i . Внешний источник питания, с помощью которого создается плазма,

передает энергию электронной компоненте плазмы, так как именно электроны служат носителями тока. Относительная энергия электрона в виде тепловой энергии, которую можно передать иону, не превосходит $4m_e/m_i$, где m_e и m_i – массы электрона и иона. Поскольку $m_e \ll m_i$, то электрон должен испытать очень много (тысячи) столкновений для того, чтобы полностью отдать имеющийся у него излишек энергии. Поскольку параллельно этому процессу идет процесс приобретения энергии электронами от источника электрического питания и одновременно с этим энергия уходит из плазмы вследствие различных механизмов теплопередачи, то при электрическом разряде обычно поддерживается большой перепад температур между электронами и ионами. Этот перепад снижается с увеличением концентрации, так как число столкновений между разноименно заряженными частицами растет пропорционально квадрату концентрации.

Для того чтобы найти энергию, которую быстрый электрон передаст неподвижным ионам за единицу времени, необходимо умножить ΔW на $nv_0 f(\Theta)d\Omega$ и проинтегрировать по углам. С учетом преобразования выражения для передаваемой энергии получим:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{4\pi n e^4}{m_i v_e} L_k = \frac{2m_e}{m_i} \frac{4\pi e^4}{m_e^2 v_e^3} \frac{m_e v_e^2}{2} = \frac{2m_e}{m_i} \gamma_{ei} W_{ei}.$$

Здесь γ_{ei} – число столкновений в единицу времени между электроном с кинетической энергией W_e и неподвижными ионами.

Поведение плазмы в электрическом поле. Под действием электрического поля в плазме возникают направленные потоки частиц: через плазму течет электрический ток. При прохождении тока ионы можно считать неподвижными, ток создается потоком электронов. В случае, когда ток постоянен (как в случае ЭЭО), устанавливается равновесие между силой, с которой действует на электроны электрическое поле, и силой торможения обусловленной столкновениями между электронами и ионами. Электрон испытывает за 1 с γ_{ei} столкновений, при каждом из которых он теряет импульс $m_e u$, где u – направленная скорость электрона. Следовательно, сила торможения равна $m_e u \gamma_{ei}$ и условие торможения имеет вид:

$$eE = m_e \gamma_{ei} u.$$

Плотность тока в плазме

$$j = neu.$$

Следовательно,

$$j = \frac{ne^2 E}{m_e \gamma_{ei}} = \frac{ne^2 \tau_{ei} E}{m_e}. \quad (1)$$

Выражение (1) является законом Ома для плазмы.

Тогда электропроводность плазмы будет

$$\sigma_E = \frac{ne^2 \tau_{ei}}{m_e}.$$

Поведение плазмы в магнитном поле. Как известно, в однородном магнитном поле заряженная частица движется в общем случае по винтовой линии. Проекция траектории на плоскость, перпендикулярную вектору магнитной индукции B , представляет собой окружность с радиусом $\rho = \frac{mv_{\perp} c}{qB}$, где $v_{\perp}$ – поперечная составляющая скорости частицы. Это так называемая ларморовская окружность. Вращение по этой окружности происходит с Лар-

ларморовской частотой $\omega_B = \frac{qB}{mc}$. Вдоль силовых линий частица движется с постоянной скоростью $v_{\parallel}$.

В общем случае движение заряженной частицы в неоднородном магнитном поле можно представить как суперпозицию следующих трех движений:

- 1) вращение по ларморовской окружности со скоростью $v_{\perp}$;
- 2) движение центра ларморовской окружности вдоль силовой линии со скоростью $v_{\parallel}$;
- 3) дрейфовое движение центра ларморовской окружности, перпендикулярное B и $\text{grad } |B|$.

В промежутке между двумя кулоновскими столкновениями каждая заряженная частица плазмы движется вдоль поля по винтовой траектории. Если магнитное поле однородно, то осевая линия траектории точно совпадает с одной из силовых линий поля. Перемещение электронов и ионов поперек силовых линий поля возможно лишь благодаря кулоновским столкновениям. При каждом столкновении частица перемещается на расстояние порядка ларморовского радиуса. Однако по отношению к процессам диффузии в поперечном направлении плазма в сильном магнитном поле ведет себя как вещество с резко выраженной анизотропией. Область распространения плазменного столба в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля, ограничена плоскостью, по которой электроны уравниваются электродинамическими силами, которые возникают вследствие того, что плазма в магнитном поле ведет себя как диамагнетик. Диамагнетизм плазмы обусловлен тем, что ларморовские токи вращающихся заряженных частиц создают в каждой единице объема магнитный момент, направленный против действующего внешнего поля. По этой причине напряженность магнитного поля внутри плазмы уменьшается и создается пондеромоторная сила, уравнивающая перепад давлений внутри и на границе плазменного образования.

Теплогенерация за счет электрических разрядов в газах. В обычных физических условиях газы не проводят электрический ток и теплогенерация за счет электрической энергии в них невозможна. Под действием электромагнитного поля можно осуществить электрический разряд в газе путем разрушения нейтральных молекул. В зависимости от величины внешнего энергетического воздействия на молекулу может произойти ее возбуждение с усилением колебательного движения атомов, диссоциация с расщеплением на более простые частицы – фрагментированные молекулы или атомы, ионизация с образованием молекулярного иона, возбуждение и ионизация атомов. Энергетические воздействия в газах осуществляются при соударениях частиц и при поглощении излучения. Поэтому повышение температуры газа, помимо усиления теплового движения молекул и пропорционального увеличения средней кинетической энергии и энтальпии газа, способствует возбуждению, диссоциации и ионизации нейтральных молекул при их соударении.

Отрыв электрона от атома (ионизация атома) требует определенной энергии ионизации W_u , которая равна энергии связи в атоме. Для того чтобы при соударении нейтральных частиц массой M имела место ионизация, необходимо наличие у ударяющей частицы кинетической энергии теплового движения со скоростью v_n при нагреве газа до температуры T :

$$W = 1,5kT = \Delta K = 0,5Mv_n^2,$$

равной или большей энергии ионизации ударяемой частицы W_u . Условие $W \geq W_u$ выражает энергетику процесса ионизации как эндотермического процесса. Процессу ионизации предшествует также эндотермический процесс диссоциации многоатомных молекул газа, протекающий с поглощением энергии диссоциации W_A . Практически эти процессы начинают происходить при $T > 2000...3000$ К. Электропроводность газа можно увеличить за счет одного из пяти возможных видов эмиссии электронов: термоэлектронная из горячего катода; автоэлектронная или

электростатическая из холодного катода; фотоэлектронная; вторичная, вызванная положительными ионами; вторичная, вызванная метастабильными атомами.

Приложенное электромагнитное поле повышает энергию ионизированного газа, ускоряя заряженные частицы, особенно электроны, ввиду их высокой подвижности. Возрастающая кинетическая энергия электронов ΔK_e частично превращается в тепловую энергию, повышая энтальпию газа W_{Σ} при нагреве до $10^3 - 10^4$ К° и вызывая диссоциацию многоатомных молекул газа с затратой энергии W_d . Другая часть энергии электромагнитного поля аккумулируется в ионизированном газе в виде W_{II} . Поэтому суммарные энергозатраты W_{Σ} со стороны электромагнитного поля на создание электрического разряда в газах равны

$$W_{\Sigma} = W_{\Sigma} + W_d + w_{II}.$$

В ионизированном газе, наряду с процессами ионизации, происходит нейтрализация заряженных частиц вследствие процесса рекомбинации. При рекомбинации выделяется энергия, эквивалентная W_{II} , причем механизм рекомбинации связан с превращением кванта энергии в фотон. Излучение, порождаемое рекомбинацией, является одной из причин свечения многих форм электрического разряда.

Различие температур электронов и тяжелых частиц определяет особенности теплообмена неравновесной (неизотермической) плазмой и нагреваемым материалом, когда, помимо теплопроводности и конвективного теплопереноса тяжелыми частицами через пограничный слой, имеет место перенос энергии электронами за счет их диффузии и теплопроводности, а также излучения энергии, выделяющейся при рекомбинации заряженных частиц, релаксации возбужденных атомов и ассоциированных молекул и молярных ионов.

Тип электрического разряда в газах определяют два основных процесса – эмиссия электронов из катода и образование в газовой среде электронов и ионов. В свою очередь, характер разряда зависит от множества факторов: от химической природы газа и электродов, от температуры и давления газа, от формы, размеров и взаимного расположения электродов, от электрических параметров (напряжения, плотности тока) и т. п.

Межэлектродный промежуток разряда по длине и характеру происходящих электрофизических процессов и энергетических преобразований состоит из трех зон – катод и катодная область, столб дуги, анодная область и анод.

Нагрев катода для термоэлектронной эмиссии происходит в результате рекомбинации бомбардирующих его положительных ионов, а также под воздействием теплопроводности ближайших слоев газоразрядной плазмы в столбе дуги.

Катодная область по протяженности приблизительно равна длине свободного пробега электрона и составляет около 10^{-5} см. В этой области электроны эмиссии ускоряются электрическим полем, увеличивая свою кинетическую энергию на величину $\Delta K_e = eU_K$, где U_K – падение напряжения в катодной области дугового разряда. Величина ΔK_e должна быть достаточной для ионизации нейтральных частиц межэлектродного промежутка, т. е. $\Delta K_e \geq W_{II}$. Падение напряжения U_K также ускоряет положительные ионы, летящие в сторону катода, способствуя теплогенерации на катоде и в столбе дуги.

Вблизи анода электроны, поступающие из столба дуги, получают дополнительную кинетическую энергию за счет энергии электрического поля, характеризуемого падением напряжения в анодной области разряда U_a .

На аноде ускоренные электроны внедряются в кристаллическую решетку материала, в результате чего их кинетическая энергия рассеивается в виде тепла в анодном пятне, что вызывает локальное повышение температуры анода. Тепло, генерируемое на аноде, расходуется на нагрев, плавление и необходимый перегрев жидкого металла, на излучение в окружающую среду и на потери теплопроводностью через тело анода и в окружающую среду.

Сравнение теплового воздействия на анод и катод позволяет вести процесс обработки детали в определенной полярности.

Электрическая мощность дугового разряда P_D , характеризующая тепловую мощность, равна

$$P_D = I_D U_D = I_D (U_K + \text{grad} U_C l_C + U_a) \approx I_D [(U_K + U_a) + \text{grad} U_C l_D], \quad (2)$$

где I_D – сила тока дугового разряда; l_C – длина столба дуги; l_D – общая длина дуги, которую вследствие малой протяженности катодной и анодной областей можно считать равной длине столба, т.е. $l_D \approx l_C$.

Уравнение (2) показывает возможности регулирования тепловой мощности дугового разряда в широких пределах в соответствии с требованиями технологического процесса за счет изменения силы тока, напряжения дуги и величины межэлектродного промежутка.

Теплогенерация за счет ускорения потока электронов. Этот способ теплогенерации основан на преобразовании потенциальной энергии, которой обладает электрический заряд электрона e в электрическом поле напряженностью E , в кинетическую энергию K_e движения электрона с последующим преобразованием ее в тепловую энергию при взаимодействии этого электрона с кристаллической решеткой нагреваемого металла [9].

На длине свободного пути электрона L потенциальное поле совершает работу A , равную уменьшению потенциальной энергии $\Delta\Pi$ этого электрона:

$$A = -\Delta\Pi = -e\Delta\phi = eLE, \quad (3)$$

где ϕ – потенциал в данной точке поля, В.

При этом электрон массой m_e приобретает скорость v_e и кинетическую энергию K_e направленного движения:

$$K_e = 0,5m_e v_e^2. \quad (4)$$

В уравнении (3) разность потенциалов между заземленным катодом и анодом соответствует положительному потенциалу анода $\Delta\phi_a$, равному

$$\Delta\phi_a = LE = U_a, \quad (5)$$

где U_a – анодное или ускоряющее напряжение, В.

С учетом уравнений (3) – (5) скорость направленного движения электрона равна

$$v_e = \sqrt{2e/m_e} \sqrt{U_a} \approx 0,6 \cdot 10^6 \sqrt{U_a}.$$

Получение большой кинетической энергии электрона, обладающего чрезвычайно малой массой, возможно, согласно уравнению (4), за счет ускорения его до огромных скоростей v_e . Электроны, поступающие в межэлектродный промежуток в результате термоэлектронной эмиссии из катода, в электрическом поле формируются в виде направленного потока быстро летящих электронов, называемого электронным лучом. Мощность электронного луча определяется кинетической энергией N электронов, отнесенных к единице времени:

$$P = NK_e / t = (N_e / t) U_a = I_a U_a = k U_a^{5/2},$$

где $I_a = N_e / t$ – сила тока переноса в вакууме, связанная с величиной ускоряющего напряжения U_a так называемым законом «трех вторых» в отличие от закона Ома:

$$I_a = k U_a^{3/2},$$

где k – постоянная, характеризующая размеры и форму катода и анода.

Достигая поверхности нагреваемого металла, электроны электронного луча, называемые первичными, внедряются в кристаллическую решетку, испытывают торможение на своем пути в результате взаимодействия с ионами, свободными и связанными электронами. В пространстве, пронизанном электрическими полями первичных электронов, происходит увеличение потенциальной энергии ионов, связанное с усилением перемещений и амплитуды их колебаний в узлах решетки и вызывающее локальное повышение температуры металла.

Возможность управления движением электронов электрическим и магнитным полем позволяет фокусировать электронный луч, создавая заданную плотность теплового потока порядка 10^{10} Вт/см².

Выводы

Проведен анализ процессов, происходящих на катодной и анодной областях электроэрозионного процесса. Рассмотрена роль плазменного столба в процессах переноса электрической и тепловой энергии. Дано описание плазменного столба как объекта регулирования и выявлены условия, влияющие на его энергетические и геометрические параметры. Показано, что перспективным, с позиции управления точностью, может быть вариант электроэрозионной размерной обработки с наложением внешнего электромагнитного поля непосредственно в зону разряда. Показаны причины, определяющие ведение процесса ЭЭО в определенной полярности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцимович, Л. А. Что каждый физик должен знать о плазме / Л. А. Арцимович. – 2-е изд. – М.: Атомиздат, 1977. – 112 с.
2. Золотых, Б. Н. Физические основы электроэрозионной обработки / Б. Н. Золотых, Р. Р. Мельдер. – М.: Машиностроение, 1977. – 43 с.
3. Красюк, В. А. О физических процессах, лежащих в основе электрических методов обработки / В. А. Красюк // Электрические методы обработки: сб. – М.: Машгиз, 1951. – 155 с.
4. Лазаренко, Б. Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б. Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – М.: АН СССР, 1958. – 300 с.
5. Мицкевич, М. К. Электроэрозионная обработка металлов / М.К. Мицкевич и др. ; под ред. И. Г. Некрашевича. – Минск: Наука и техника, 1988. – 216 с.
6. Намитоков, К. К. Электроэрозионные явления / К. К. Намитоков. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
7. Фотеев, Н. К. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.
8. Сканава, Г. И. Физика диэлектриков (область сильных полей) / Г.И. Сканава. – М.: Физматгиз, 1958. – 907 с.
9. Теплотехника металлургического производства. Т. 1. Теоретические основы: учеб. пособие для вузов / В. А. Кривандин, В. А. Арутюнов, В. В. Белоусов [и др.]. – М.: МИСИС, 2002. – 608 с.



Ковбасюк А. А., Сарилов М. Ю.

A. A. Kovbasyuk, M. U. Sarilov

РАЗРАБОТКА СПОСОБА СУШКИ С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАТОРНОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF DRYING WITH RESONATOR SPRAY DEVICES

Ковбасюк Арнольд Артурович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: arni555@bk.ru.

Kovbasyuk Arnold Arturovich – student Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin avenue. E-mail: arni555@bk.ru.

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Mr. Mikhail Yu. Sarilov – Ph.D., professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Аннотация. В статье рассмотрен способ проведения процесса сушки с помощью резонаторного распылительного устройства, описаны основные характеристики распылителей, используемых в современной промышленности. Показаны характеристики резонаторного распылительного устройства и его влияние на процесс сушки.

Summary. In the article the way of conducting the drying process by using the cavity spray device, describes the main characteristics of the nozzles used in modern industry. Shows the characteristics of the cavity spray device and its effect on the drying process.

Ключевые слова: сушка, сушилка, форсунка, распыление, резонанс, кавитация, диспергирование, рабочая камера, гранулы

Key words: dryer, drying, nozzle, spraying, resonance, cavitation, dispersion, grinding chamber, the granules.

УДК 665.6.7

В современной химической и нефтеперерабатывающей промышленности важную роль играет процесс сушки. Сущность процесса сушки материалов в распыленном состоянии заключается в том, что диспергированная в виде капель жидкая или жидкообразная масса при своем распространении в некотором замкнутом объеме обезвоживается за счет разности парциальных давлений паров жидкости на поверхности капель и в окружающей среде. В зависимости от технологических требований к материалу в распылительной сушилке можно получать либо порошок, либо пластичную массу. Вследствие этого используют множество различных по конструкции сушильных аппаратов.

Перед другими способами сушки жидких и жидкообразных материалов сушка распылением имеет следующие преимущества: создание значительной поверхности взаимодействия дисперсионной фазы с дисперсионной средой; кратковременность процесса; получение гранулированного порошкообразного материала; механизация и автоматизация процесса сушки. Кроме того, сушка распылением позволяет получать особо чистые материалы, так как отсутствует контакт между влажными частицами и ограждениями аппарата, создавать высокопроизводительные агрегаты, использовать высокотемпературный теплоноситель, организовывать процесс сушки в вакууме или в среде инертных газов, совмещать в одном агрегате

процесс сушки с последующими технологическими процессами (дегидратацией, обжигом, плавлением и т. п.), надежно герметизировать аппарат.

В качестве недостатков процесса сушки распылением обычно отмечают сравнительно низкую напряженность сушильного объема по испаренной влаге ($5 \dots 15 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$); необходимость использования специальных устройств для выделения высушенного продукта из потока отработанных газов; низкий объемный вес получаемого продукта; сравнительно высокие расходы тепла и электроэнергии. Такие недостатки распылительной сушки, как низкая напряженность сушильного объема по испаренной влаге и сравнительно высокие расходы тепла и электроэнергии, органически ей не присущи. Их можно устранить путем оптимизации процесса распылительной сушки.

Распылительные сушилки предназначены для сушки растворов и суспензий с получением готового продукта в виде порошка или гранул. Сушимый материал распыливается в сушилке до капель, диаметр которых обычно составляет несколько десятков микрон; благодаря высокой дисперсности образуется развитая поверхность соприкосновения материала с сушильным агентом. Удаление из капель влаги, т. е. собственно сушка и получение готового продукта в виде порошка происходит в течение нескольких секунд. Сушка распылением обуславливается тремя основными процессами: распылением раствора, смешением газа и частиц раствора, тепло-и массообменом между ними. Кроме того, сушка распылением непосредственно связана с выделением сухих частиц из потока газов. Совокупность этих процессов определяет эффективность и технико-экономические показатели распылительных сушильных установок.

Основное достоинство распылительных сушилок – совмещение в одном агрегате процессов сушки и грануляции, благодаря чему схема приготовления порошка получается предельно компактной. Взаимодействие распыленного продукта, обладающего большой удельной поверхностью, с газами высокой температуры обуславливает короткую продолжительность сушки, что дает возможность создавать сушилки высокой производительности. Велики и технологические достоинства этого способа: порошок, полученный способом распылительной сушки, обладает по сравнению с порошком, приготовленным по сушильно-помольной технологии, хорошими технологическими свойствами для компрессионного прессования изделий. Гранулы порошка имеют округлую форму, а сам порошок является практически монофракционным с минимальным содержанием пылевидной фракции, что облегчает эвакуацию из него воздуха при прессовании изделий. Кроме того, пофракционная влажность порошка распылительной сушки при нормальной работе сушилки колеблется в узких пределах 1 – 2 %, что исключает локальные усадки отдельных гранул порошка в спрессованных изделиях [1].

Рабочей камерой распылительной сушилки является башня, в которой раствор определенной вязкости диспергирует на мелкие капли. Последние взаимодействуют с дымовыми газами высокой температуры и в короткое время, исчисляемое секундами, высыхают до остаточной влажности 7 – 9 %.

Основным рабочим органом, определяющим производительность сушилки, является форсунка. В технике сушки применяются два способа распыления растворов: с помощью механических и пневматических форсунок.

В механических форсунках распыление за счет центробежной силы осуществляется путем подачи раствора на быстро вращающийся диск. Под действием центробежной силы раствор движется на периферию диска и при помощи лопаток или сопел выгаливается в камеру. Скорость вращения диска составляет от 4000 до 20000 об/мин. Окружная скорость диска выбирается до 200 м/с. Распыливающие диски могут приводиться во вращение электродвигателем или паровой турбинкой. Но, несмотря на большую скорость процесса сушки, интенсивность работы распылительных сушилок с применением форсунок данного типа невелика, поскольку на единицу объема аппарата одновременно приходится сравнительно небольшая масса материала. Их недостатками являются: неприменимость для распыла грубых

суспензий или растворов, содержащих твердые частицы или кристаллы; значительная чувствительность к засорению и вследствие этого недопустимость применения форсунок с диаметром меньше 1 мм; невозможность регулирования производительности, так как при этом меняется дисперсность, а также самопроизвольное изменение производительности форсунки вследствие увеличения от износа диаметра выходного отверстия.

Пневматические форсунки распыливают высушиваемый раствор за счет сжатого воздуха или водяного пара давлением от 1,5 до 6 ат. Производительность форсунок зависит как от свойств раствора, так и от температуры сушки. При повышении температуры сушильного агента производительность форсунок может возрасти. С помощью пневматических форсунок можно высушивать жидкости любой вязкости. Эти форсунки надежны и позволяют регулировать производительность. К недостаткам пневматических форсунок следует отнести неоднородность распыла и повышенный расход электроэнергии, а также сравнительно высокую стоимость распыливающего аппарата, его сравнительно сложную эксплуатацию и необходимость (из-за широкого факела) большого диаметра распылительной сушилки и, соответственно, большой площади помещения.

Наибольшее распространение получили распылительные сушилки с параллельным током газа и осаждающихся частиц. Их достоинством является возможность применения более высоких температур газа без перегрева сушимого материала. Это компенсирует меньшее время пребывания частиц в газовом потоке по сравнению с противотоком, который чаще всего применяется, когда требуется получить большой объемный вес порошка.

Для повышения эффективности сушильной башни рекомендуется использовать резонаторные распылительные устройства. Распылительное устройство выполнено в виде корпуса, имеющего внутри полость диаметром D , с 16 калиброванными отверстиями диаметром d , ось которых расположена под углом $40...75^\circ$ к оси распылительного устройства. Стенки распылительного устройства из-за того, что раствор по патрубку в полость устройства подается под повышенным давлением, совершают колебания. Частота вынуждающей силы определяется давлением нагнетательного насоса, а частота собственных колебаний – конструктивными параметрами устройства.

Максимальное увеличение энергии для резонатора будет наблюдаться на резонансной частоте f_p :

$$f_p = 0,5c(k_p / V_p)^{0,5} / \pi,$$

где k_p – проводимость отверстий, соединяющих резонаторную камеру объемом V_p (м^3);

$$k_p = \frac{nS_0}{l_{\text{отв}} + 0,8\sqrt{S_0}},$$

где n – количество отверстий; S_0 – площадь одного отверстия диаметром d_0 , м^2 ; $l_{\text{отв}}$ – глубина отверстия, м.

При этом резонансная частота волн лежит в оптимальном диапазоне частот от 15 до 16 кГц.

Благодаря резонансу скорость выхода высушиваемого раствора возрастает и повышается производительность всего аппарата в целом.

Процесс сушки проводится следующим образом. В рабочей камере сушилки расположено вращающееся распылительное устройство 6 для подачи высушиваемого раствора (или суспензии), распыляющегося под действием давления нагнетательного насоса (рис. 1). Нагретый теплоноситель подается в рабочую камеру по патрубку 1 через газораспределительную решетку 5 по всему сечению аппарата. При прямоточном движении раствора и теплоносителя происходит испарение влаги, гранулы материала оседают в нижней части конической камеры и удаляются через нижний патрубок аппарата 3. Отработанный теплоноситель удаляется через отверстия 7 в перфорированной части цилиндрического корпуса и вы-

водится из аппарата по специальному патрубку 4. При таком способе подвода теплоносителя повышается эффективность работы аппарата [2].

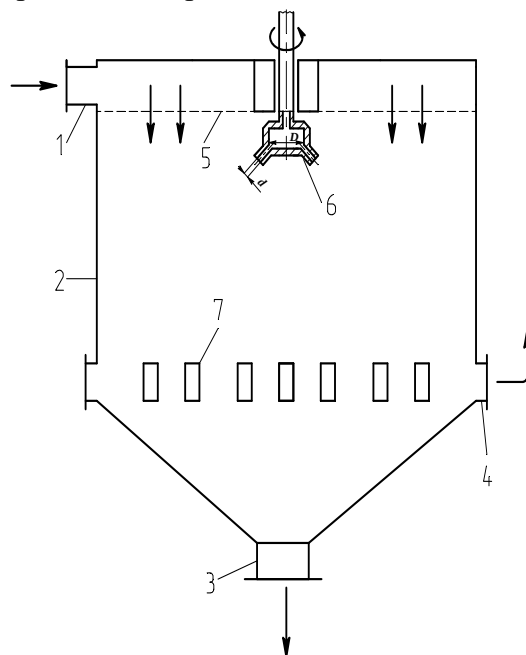


Рис. 1. Сушильный аппарат:

- 1 – патрубок для ввода раствора; 2 – корпус; 3 – патрубок для вывода сухого продукта; 4 – патрубок для вывода газов; 5 – газораспределительная решетка; 6 – резонаторное распылительное устройство; 7 – перфорированные отверстия

Важной отличительной чертой резонаторных распылительных устройств является то, что при их работе устраняется необходимость использования распылительного агента. Это экономически выгодно, так как из технологической схемы работы сушильной башни исключается компрессор, подающий воздух, который используется в качестве распылительного агента. Это приводит к равномерному распределению раствора по всему сечению сушилки и ликвидации «мертвых зон», в которых не происходит процесса сушки. При этом происходит экономия энергозатрат, так как энергия, затрачиваемая на вращение распылительного устройства, намного меньше, чем энергия, расходуемая на подачу распылительного агента.

Единственным недостатком резонаторного распылительного устройства является то, что толщину его стенки необходимо рассчитывать по параметрам, определяющим условия резонанса. При этом необходимо вводить коэффициент запаса, равный 1,1.

В целом использование резонаторного распылительного устройства более выгодно при проведении процесса сушки, так как меняется схема проведения самого процесса, снижаются энергозатраты, а также увеличивается производительность сушилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поникаров, И. И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: учебник / И. И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.
2. Рашковская, Н. Б. Сушка в химической промышленности / Н. Б. Рашковская. – Л.: Химия, 1977. – 79 с.

Черномас В. В., Лушников Н. Ю.
V.V.Chernomas, N.Yu.Lushnikov

**АНАЛИЗ СТРУКТУР МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ
НА ЛИТЕЙНО-КОВОЧНОМ МОДУЛЕ**

**ANALYSIS OF THE STRUCTURES OF METAL ITEMS MANUFACTURED AT A
FOUNDRY-FORGING MODULE**

Черномас Вадим Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Vadim V. Chernomas – Doctor in Engineering, Associate Professor, Head of Laboratory at the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur).

Лушников Никита Юрьевич – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: raziel.soul@mail.ru.

Mr. Nikita Yu. Lushnikov – PhD Candidate, Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur); e-mail: raziel.soul@mail.ru.

Аннотация. В Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН разработан и изготовлен литейно-ковочный модуль, позволяющий получать из расплавленного металла в непрерывном режиме деформированный профиль заданного поперечного сечения. В статье приводятся данные металлографических исследований образцов непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ) из стали марки Ст3, а также их сравнение со структурами литых тест-образцов. Представлены результаты оценки размерно-геометрической точности образцов НЛДЗ.

Summary. At the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, a Foundry-Forging Module was designed and manufactured that allows to continuously produce a deformed profile of the predetermined cross-section from molten metal. The paper presents data from metallographic research on samples of continuously cast deformed blanks made from St.3 steel, and also their comparison with structures found in cast test-pieces. Also the results of the assessment of dimension/geometrical accuracy of the samples of continuously cast deformed blanks are offered.

Ключевые слова: структура, непрерывнолитая деформируемая заготовка, литейно-ковочный модуль.

Key words: structure, concast deformed billet, foundry-forging module.

УДК 621.771:539.3

Для получения непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ) из железоуглеродистых сплавов используются технология и комплекс оборудования для ее реализации, разработанные в Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН [1]. Из большого объема проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод, что устойчивость технологического процесса изготовления НЛДЗ с применением литейно-ковочного модуля (ЛКМ) зависит от следующих факторов: температуры ликвидуса и солидуса сплава; распределения температур в кристаллизаторе после его предварительного и рабочего прогревов; величины перегрева сплава над линией ликвидуса; параметров работы привода ЛКМ, определяющих требуемую производительность работы установки.

В качестве показателей качества полученных образцов НЛДЗ были выбраны данные микроструктурного анализа (величина хорды зерна, средний условный диаметр зерна, равномерность распределения зерна), поверхностная твердость, а также их размерно-геометрическая точность. Были получены данные для образцов, изготовленных из стали марки Ст3 ГОСТ 380-94. Их сравнивали с образцами заготовок, полученными методом литья в металлическую форму (кокиль). Теплофизические свойства материала, из которого изготовлены кристаллизатор и кокиль, начальное распределение температур кристаллизатора ЛКМ и кокиля, температура заливки расплава, условия теплоотвода в процессе формирования НЛДЗ

и тест-образцов, а также приведенная толщина образцов НЛДЗ и тест-образцов были аналогичны параметрам изготовления НЛДЗ.

При анализе макроструктуры образцов выявлено, что в структуре тест-образцов имеются крупные газовые поры размером до 15×3 мм и шлаковые включения размером до 3×1,5 мм. В макроструктуре образца НЛДЗ шлаковых включений и газовых пор не обнаружено.

Микроструктуру образцов исследовали в двух сечениях – продольном (осевом) и поперечном. В структуре тест-образцов присутствуют неметаллические включения серого цвета (сульфиды), рассредоточенные по всему объему образца. Размер включений в среднем составляет 170 мкм. Структура имеет ферритно-перлитное (Ф–П) строение с выраженной видманштеттовой структурой. В структуре имеется неоднородность по распределению ферритной и перлитной составляющих, что обусловлено ликвацией углерода.

В поперечном сечении тест-образца наблюдаются крупные зерна с Ф–П дендритным строением внутри зерна, которые оторочены ферритной составляющей. Видманштеттова структура представлена в виде игл, отходящих от сетки феррита по границам зерен (балл 2, шкала 4 ряд А, Б по ГОСТ 5640-68), и развивается до ярко выраженной видманштеттовой структуры (балл 4, шкала 4 ряд А, Б ГОСТ 5640-68), при этом вид видманштеттовой структуры соответствует процентному содержанию углерода в металле образца (см. рис. 1). Так как структура очень разнотекстурированная, то размер зерна определялся методом измерения хорд под микроскопом по ГОСТ 5639-82. В результате проведенных измерений установлено, что в структуре присутствуют зерна с размером хорд от 0,0575 до 3,910 мм. В центральной области образца наибольшее количество зерен приходится на размерные группы 0,175 – 0,254 мм (G«1»), 0,254 – 0,368 мм (G«0») и 0,534 – 0,775 мм (G«-2»). Ближе к поверхности зерно укрупняется до 0,775 – 1,124 мм, что соответствует размерной группе G«-3». В поверхностной области образца имеется зона столбчатых кристаллов в виде зерен перлита вытянутой формы. Длина хорды зерна в направлении кристаллизации достигает 3,910 мм, в перпендикулярном направлении – 0,230 – 0,402 мм, а ширина ферритной межзеренной оторочки до 0,03 мм.

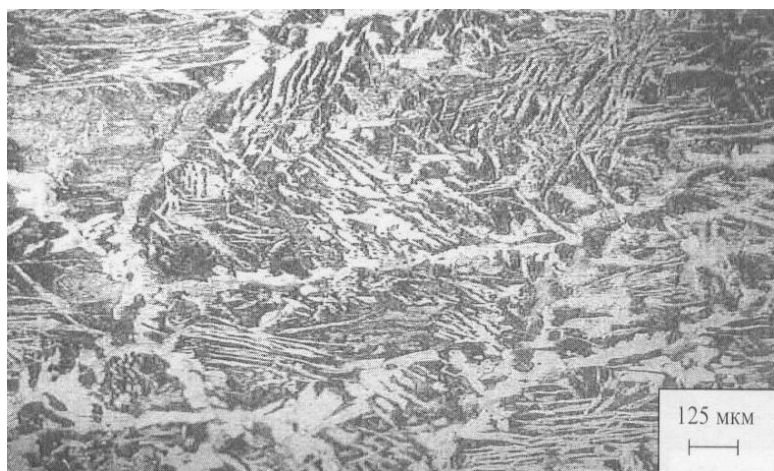


Рис. 1. Явно выраженная видманштеттова структура в тест-образце

В продольном сечении тест-образца присутствуют зерна с размером хорд от 0,0575 до 2,024 мм. При этом в центральной области образца наибольшее количество зерен приходится на размерную группу 0,254 – 0,368 мм (G «0»), затем идут группы 0,534 – 0,775 мм (G «-2»), 0,368 – 0,534 мм (G «-1»), 0,175 – 0,254 мм (G«1»). Ближе к поверхности зерно укрупняется до (G «-3») и крупнее, что соответствует размерной группе 0,775 – 1,124 мм. В поверхностной области образца имеется зона столбчатых кристаллов, длина хорды зерна в направлении кристаллизации достигает 2,024 мм.

Микроструктуры образцов НЛДЗ в продольном и поперечном сечениях практически не отличаются друг от друга. В образце НЛДЗ присутствуют неметаллические включения серого цвета (сульфиды), которые рассредоточены по всему объему металла и имеют вытянутую форму. Размер этих включений достигает до 90×2,3 мкм. Структура образца НЛДЗ имеет более мелкое зерно и более однородную микроструктуру с равномерным распределением ферритных и перлитных составляющих по сравнению со структурой тест-образца (см.

рис. 2). Металл образца НЛДЗ в центральной области имеет Ф–П структуру с элементами видманшеттовой структуры. Микроструктура наружных слоев с обеих поверхностей на глубину примерно 4 мм (при общей толщине образца НЛДЗ – 18 мм) имеет мелкозернистую структуру, характерную для стали в состоянии после горячей деформации и последующего отжига. Размер зерна соответствует группе G«7–9» (шкала 1 по ГОСТ 5639-82) со средним условным диаметром зерна 0,0267 мм – для G«7», 0,0196 мм – для группы G«8» и 0,0138 мм – для группы G«9». Присутствуют участки с явными следами деформации, на которых просматривается даже полосчатость (балл 1 шкала 3, ряд Б по ГОСТ 5640-68).

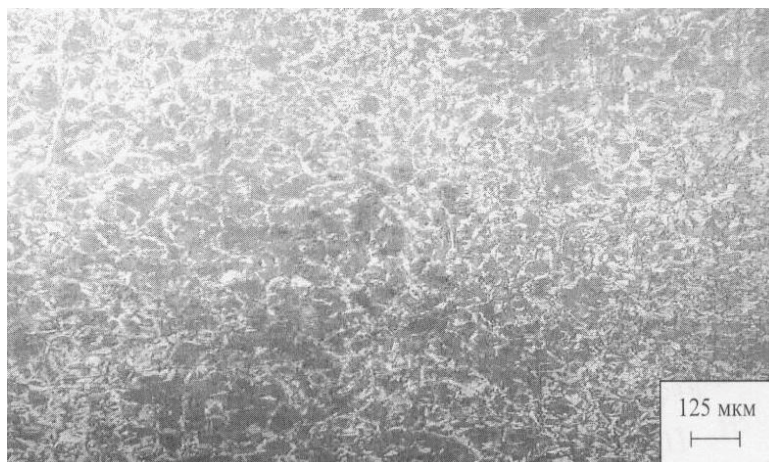


Рис. 2. Микроструктура образца НЛДЗ

При исследовании микротвердости образцов установлено, что числа микротвердости для образцов НЛДЗ изменяются по сравнению с тест-образцами: для ферритной составляющей – со 107 до 85,1, для перлитной составляющей – со 154 до 210 и для Ф–П составляющей – с 183 до 118. Микротвердость перлитной зоны в поверхностном слое образца НЛДЗ составила 257 – 362.

Таким образом, из анализа структур образцов видно, что размеры зерна образцов НЛДЗ значительно меньше, чем у тест-образцов. При этом зерно более равномерно распределено по сечению образца, что говорит о более высокой изотропности свойств НЛДЗ по сравнению с тест-образцами.

Размерно-геометрическую точность образцов НЛДЗ типа полосы, с размерами 60×18 мм, оценивали по отклонениям ее толщины от номинальных размеров оснастки. В качестве номинального размера оснастки был выбран размер калибрующей части подвижного кристаллизатора ЛКМ. Измерения производили вдоль осевой линии заготовки с шагом измерений в 20 мм. Количество точек измерений составляло не менее 20 по одному образцу. После статистической обработки результатов измерений среднее абсолютное отклонение от номинального размера составило 0,11 мм при доверительной вероятности 0,95. Это отклонение соответствует 3-му классу точности по ГОСТ 26645-85 и является характерным для заготовок аналогичного типоразмера, которые изготавливаются специальными способами литья (литье под давлением, жидкая штамповка).

Заключение

Из анализа структур образцов выявлено, что размеры зерна образцов НЛДЗ значительно меньше, чем у тест-образцов. При этом зерно более равномерно распределено по сечению образца, что говорит о более высокой изотропности свойств НЛДЗ по сравнению с тест-образцами. Размерно-геометрическая точность образцов НЛДЗ соответствует точности заготовок аналогичного типоразмера, которые изготавливаются специальными способами литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинок, В. И. Теоретическое и экспериментальное исследование непрерывного процесса кристаллизации металла при одновременном его деформировании / В. И. Одинок, Б. И. Проскуряков, В. В. Черномас. – М.: Наука, 2006 – 111 с.

Лиманкин В. В., Марьин Б. Н., Ким В. А., Марьин С. Б., Хохлов С. А.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Лиманкин В. В., Марьин Б. Н., Ким В. А., Марьин С. Б., Хохлов С. А.
V.V.Limankin, B.M.Maryin, V.A.Kim, S.B.Maryin, S.A.Khokhlov

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРЫ
ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**INTENSIFICATION OF THE PRODUCTION TECHNIQUE USED TO MANUFACTURE
REINFORCEMENTS FOR FERROCONCRETE ITEMS**



Лиманкин Владимир Васильевич – управляющий директор ОАО «Амурметалл» (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
Mr. Vladimir V. Limankin – CEO of the JSC “AmurMetal”.

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Boris N.Maryin – Doctor in Engineering, Professor of the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Ким Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Vladimir A.Kim – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Materials Technology and New Materials Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).



Марьин Сергей Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
E-mail: MaryinSB@mail.ru.

Mr. Sergey B.Maryin – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Хохлов Сергей Алексеевич – председатель законодательной думы Хабаровского края (Россия, Хабаровск).

Mr.Sergey A.Khokhlov – Chairman of the Legislative Assembly of Khabarovsk Region.

Аннотация. Описаны процессы интенсификации технологии производства арматуры на мелкосортном стане 320/150.

Summary. The paper describes the processes of intensification of the technology of producing reinforcements on a light section mill 320/150.

Ключевые слова: прокатка арматуры и проволоки, процессы термической и силовой интенсификации, повышение производительности станков и прочностных свойств изделий.



Key words: reinforcement/wire rolling, thermal and power intensification processes, enhancement of mill productivity and of the strength properties of products.

УДК 621.77

Значение металлургии в развитии промышленности и строительства, в частности, огромно. Особенно это актуально, где применяется большое количество железобетонных изделий. Железобетон является основным конструкционным материалом в капитальном строительстве, при этом ежегодное потребление арматурной стали и закладных деталей достигает десятки миллионов тонн, а удельный расход металла на 1 м³ железобетона составляет в среднем 70 кг. Используемый в железобетонных изделиях металл практически не возвращается в виде лома и поэтому не подлежит возврату в производство из металлофонда страны. В связи с этим необходимо экономно расходовать сталь за счет увеличения ее прочности. Особенно эффективно использование арматурных сталей в изделиях, конструкциях и сооружениях из предварительно напряженного железобетона, получающих все более широкое применение. Так, применение упрочненной арматуры и проволоки с прочностью 600-1300 МПа за счет повышения расчетных сопротивлений позволяет снизить расход металла на 20-55 %.

Прокат металла является заключительным этапом металлургического производства. На металлургических заводах более 80 % всей выплавляемой стали перерабатывается в различные виды проката: профили, арматуру, проволоку, листы, трубы и т.д. Отсюда актуальной задачей, стоящей перед отечественной черной металлургией, является интенсификация прокатного производства на основе разработки и освоения новых высокоэффективных технологий, обеспечивающих повышение производительности труда при соответствующем качестве металлопродукции из передела. Особенно важное значение эта цель приобретает при производстве арматурной стали, потребление которой имеет устойчивую тенденцию к росту в связи с выполнением в стране национального проекта по расширению строительных работ.

В стране сортовой прокат составляет до 60 %, арматурные профили и проволока прокатываются на мелкосортных и мелкосортно-проволочных станах. К таким станам относится стан 320/150 ОАО «Амурметалл», являющийся основным оборудованием производства арматуры и проволоки для изготовления железобетонных конструкций на Дальнем Востоке. Увеличение производства арматурной стали, которая на этом стане составляет до 70 % сортамента продукции, является объективной необходимостью в связи с высокой себестоимостью проката, что повышает конкурентоспособность отечественной продукции.

Эффективным производством сортовых профилей и проволоки, позволяющим повысить производительность станов при соответствующем качестве металлопродукции, являются процессы термической и силовой интенсификаций, которые подразумевают, совокупность некоторых дополнительных по сравнению с традиционными способами мер или действий, позволяющих повысить качество деталей, снизить трудоемкость ее изготовления и уменьшить номенклатуру используемого оборудования и технологической оснастки.

Важным звеном в выборе технологического процесса термического упрочнения арматуры в промышленных условиях явилось изучение возможности замены печного отпуска, требующего больших капитальных вложений, на самоотпуск, не влекущий за собой дополнительных энергозатрат. Всесторонние исследования в этом направлении позволили предложить технологический процесс упрочняющей термической обработки арматурной стали по схеме прерванной закалки с самоотпуском, т.е. наиболее экономичный вариант термообработки.

Проведенные исследования позволили установить диапазон последеформационных пауз, в пределах которых можно осуществлять процесс термического упрочнения с сохране-

нием эффекта ВТМО. Это послужило основанием для рекомендации технологической схемы термоупрочнения арматурной стали с прокатного нагрева.

Исключительно важным условием для реализации технологического процесса термоупрочнения на непрерывных мелкосортных станах явилась разработка охлаждающих устройств, обеспечивающих одновременно интенсивное охлаждение стержней, движущихся со скоростью до 20 м/с, и их транспортирование охлаждающей жидкостью на участке расположения охлаждающих устройств. Разработаны принципиально новые охлаждающие и гидротранспортирующие устройства. Эффект интенсивного охлаждения и гидротранспортирования стержней в ритме работы стана достигается за счет кинетической энергии потока воды, движущейся в направлении прокатки со скоростью примерно в 1,5 – 2,0 раза, превышающей скорость перемещения проката при избыточном статическом давлении 0,5 – 1,0 МПа.

Другим важным условием осуществления указанного технологического процесса было применение экономнолегированных марок стали, обладающих небольшой чувствительностью к колебаниям технологических параметров прокатки и охлаждения, обеспечивающих хорошую стабильность механических свойств готовой продукции и надежность технологического процесса в целом. Полученные в процессе термического упрочнения структурное состояние и свойства позволили применить электротермический способ натяжения при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций без снижения комплекса свойств термически упрочненной арматуры.

Рассмотрим влияние скорости деформации, силовой и термической интенсификации на примере производства арматуры на мелкосортном стане 320/150, который изображен на рис. 1.

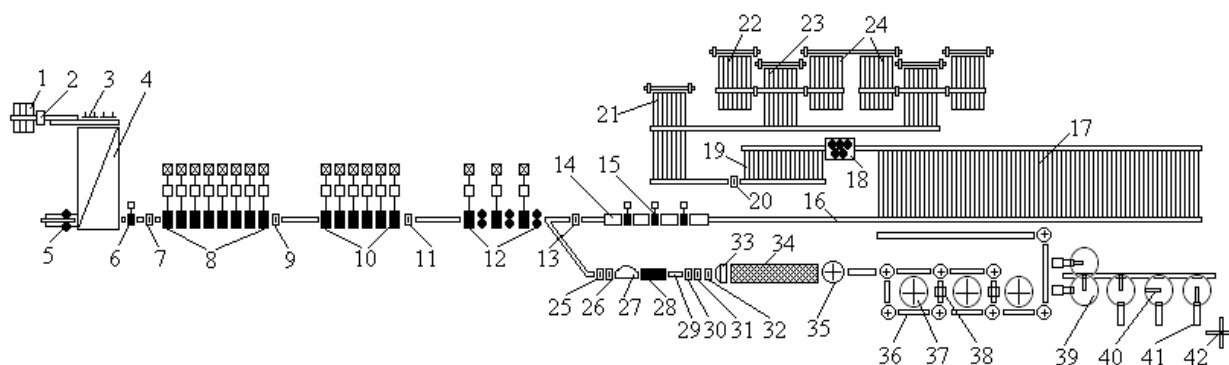


Рис. 1. Схема расположения технологического оборудования мелкосортно-проволочного стана 320/150: 1 – загрузочная решетка; 2 – кантователь; 3 – вталиватель; 4 – нагревательная печь; 5 – отводящий рольганг; 6, 15 – трайб-аппараты; 7 – разрывные ножницы; 8 – черновая группа клеток 500/400; 9 – кривошипные ножницы № 51; 10 – промежуточная группа клеток 360; 11 – эксцентриковые ножницы № 52; 12 – чистовая группа клеток 320; 13 – кривошипно-эксцентриковые ножницы № 53; 14 – участок ускоренного охлаждения; 16 – рольганг; 17 – холодильник; 18 – роликотправляющая машина; 19 – транспортер; 20 – ножницы холодной резки; 21 – пакетирующее устройство; 22, 23, 24 – штабелирующие устройства; 25, 26 – кривошипно-эксцентриковые ножницы; 27 – петлерегулятор; 28 – десятиклетевой проволочный блок 215/170; 29 – установка водяного охлаждения; 30, 31 – калибровочные ножницы; 32 – трайб-аппарат; 33 – виткоукладчик; 34 – участок воздушного охлаждения; 35 – виткосборник; 36 – конвейер; 37 – опрокидыватели; 38 – уплотнение и увязка бунтов; 39 – устройство для передачи бунтов; 40 – съемник бунтов; 41 – транспортер; 42 – бунтопакетировочная машина

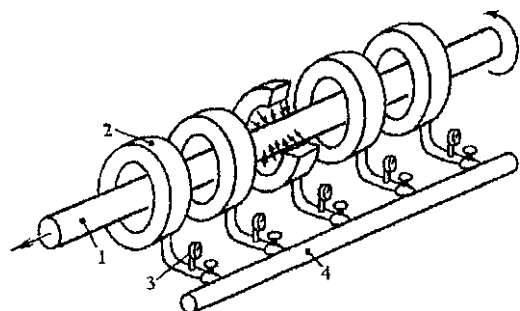


Рис. 2. Секционный спрейер:

- 1 – охлаждаемое изделие; 2 – секция спрейера;
3 – манометр; 4 – магистральный водопровод

При этом для ускоренного охлаждения раскатов в потоке прокатного стана применяют устройства, позволяющие регулировать скорость охлаждения в широких пределах: душирующие установки (см. рис. 1. поз. 14.), форсунки, щелевые охладители, спрейеры и т.п. Для сортовой прокатки наиболее целесообразным является применение спрейеров (см. рис. 2).

Как правило, спрейер состоит из нескольких секций. На внутренней поверхности секции находятся форсунки, через которые под давлением подается вода. Меняя число задействованных секций и давление воды в подающей системе,

можно регулировать скорость и температуру конца охлаждения. В последнее время широкое применение получили вращающиеся спрейеры, в которых каждая секция имеет вращающийся элемент с форсунками. Такое устройство обеспечивает большую равномерность охлаждения металла.

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в приложении внешних деформирующих усилий при изменяющейся или постоянной температуре обрабатываемого материала, приводящих к непосредственному или наследственному развитию дефектов кристаллического строения, изменяющих кинетику и термодинамику структурных и фазовых превращений. В результате неравновесных процессов могут быть получены структурные метастабильные состояния поликристаллических материалов, обеспечивающих его уникальные физико-механические свойства. Все виды совмещенного деформационно-термического воздействия на металл имеют одну важную особенность: физические процессы формирования структуры протекают в условиях образования, исчезновения и перераспределения дефектов кристаллической решетки, вызванных не столько термическим воздействием, сколько деформационным. ТМО надо понимать как совокупность операций деформации, нагрева и охлаждения в различной последовательности, в результате которых формирование окончательной структуры металлического сплава, а следовательно, и его свойств происходит в условиях повышенной плотности несовершенств кристаллического строения, созданных пластической деформацией.

В качестве классификационного признака ТМО принята последовательность операций деформирования и термической обработки, при этом различают операции, проводимые выше и ниже порога рекристаллизации. Варьируя температурой, степенью и скоростью деформирования, а также последеформационную паузу, можно получить набор различных структур: динамически полигонизованную, динамически рекристаллизованную и статически рекристаллизованную.

Структурные и субструктурные изменения во время горячей деформации и после ее завершения представляют собой сложный комплекс протекающих самостоятельно, но накладывающихся в общем случае друг на друга процессов возврата, полигонизации и рекристаллизации. Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) представляет закалку динамически полигонизованной структуры на мартенсит и последующий низкотемпературный отпуск. Распад горячедеформированного аустенита может происходить в перлитной или бейнитной областях его неустойчивости. При поддержании постоянной температуры распада реализуется так называемая высокотемпературная термомеханическая изотермическая обработка (ВТМизО). Горячую деформацию аустенита можно использовать для наследственной термомеханической обработки (НТМО). В этом случае субструктура аустенита, сформированная пластической деформацией, при последующем охлаждении наследует мартенсит, а

затем частично передается окончательной структуре в ходе завершающей высокотемпературной обработки.

Проведение деформации в температурной области, соответствующей метастабильному состоянию аустенита, составляет суть низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО). Если распад реализуется в изотермических условиях с образованием перлитных или бейнитных структур, то процесс называют низкотемпературной термомеханической изотермической обработкой (НТМизО). Теплая и холодная пластическая деформация, предшествующая ВТМО или проводимая после нее, называется предварительной термомеханической обработкой (ПТМО).

Различные виды ТМО могут быть использованы в определенной последовательности и неоднократно. Так, одним из вариантов высокотемпературной наследственной термомеханической обработкой (ВНТМО) может быть следующая последовательность. Первый цикл деформации производят в области существования стабильного аустенита, что позволяет создать дислокационную структуру аустенита, благоприятствующую повышению пластических свойств. Второй цикл производят при температурах ниже температуры рекристаллизации, что обеспечивает повышение прочностных свойств.

ТМО, проводимая с целью придания специальных свойств поверхности, принципиально не отличается от объемной обработки, но включает специальные химико-термические и диффузионные операции. Такую процедуру называют механико- и химико-термической обработкой (МХТО).

Все многообразие термомеханических обработок можно разбить на элементарные процессы, к которым относят:

- холодную пластическую деформацию;
- горячую пластическую деформацию;
- нестационарные процессы;
- метастабильные состояния.

Холодная пластическая деформация применяется перед нагревом или после выполнения основных операций ТМО. Она предназначена для наведения высокой плотности дислокаций и других дефектов кристаллического строения, на основе которых в дальнейшем формируется дислокационная субмикроструктура.

Горячая пластическая деформация аустенита и других высокотемпературных фаз так же, как и холодная пластическая деформация, сопровождается образованием большого количества структурных дефектов, но при этом материал находится в состоянии повышенной пластичности и диффузионной активности. Непосредственно в ходе горячей пластической деформации протекают два конкурирующих кинетических процесса – упрочнение и разупрочнение, скорости которых существенно и по-разному зависят от многих факторов: температуры, степени и скорости деформирования, энергии дефектов упаковки, исходного структурного состояния, фазового состава и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии обработки поверхностей в машиностроении: учеб. пособие / В. А. Ким, Б. Н. Марьин, С. Б. Марьин, В. И. Шпорт, К. А. Макаров, Ю. С. Андреевская. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 210 с.
2. Интенсификация технологии сортовой прокатки / С. А. Хохлов, Т. В. Новикова, В. В. Лиманкин, Б. Н. Марьин, В. А. Ким, С. Б. Марьин // Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010.



Севастьянов Г. М.

G.M.Sevastyanov

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАСЧЕТА ГРАНИЦЫ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В РАСПЛАВЕ СТАЛИ

ON A METHOD OF CALCULATING THE SOLIDIFICATION FRONT BORDER IN A STEEL MELT

Севастьянов Георгий Мамиевич – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: akela.86@mail.ru.

Mr. Georgiy M. Sevastyanov – post-graduate student, Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. E-mail: akela.86@mail.ru.

Аннотация. Предложен способ численного расчета температурных полей в расплаве стали при его отвердевании, включающий в себя построение границы раздела фаз, с учетом выделяющейся скрытой теплоты кристаллизации. Показана адекватность результатов расчета на основе их качественного соответствия аналитическому решению одной модельной задачи.

Summary. A method of numerical calculation of temperature fields in a steel melt during solidification is suggested; it includes building a phase boundary subject to the release of latent crystallization heat. The calculation's adequacy is demonstrated on the basis of its qualitative compliance with analytical solution of one model problem.

Ключевые слова: уравнение теплового баланса, кристаллизация стали, уравнение межфазового перехода, температура ликвидуса, численные методы.

Key words: heat-balance equation, steel solidification, interphase transition equation, liquidus temperature, numerical methods.

УДК 539.3, 621.74

Введение

Расчет температурных полей в задачах математического моделирования литейных процессов является основой для описания термонапряженного состояния в отливках и литейных формах с позиций механики деформируемого твердого тела и в случае использования несвязанной квазистатической постановки представляет собой самостоятельную (и довольно нетривиальную) задачу.

Первые попытки исследования процессов распространения тепла в средах с изменяющимся фазовым состоянием были предприняты еще Ламе и Клапейроном. Математическая постановка задач, ставших классическими, была дана физиком Й. Стефаном, что послужило основой для многих численных и аналитических решений в этой области [1].

Стоит отметить, что аналитические решения некоторых модельных задач данного класса получены, однако при произвольной геометрии области приоритет остается за численными методами.

Численная схема решения уравнения теплопроводности

В работах [2; 3] изложен метод решения уравнения теплопроводности Фурье по явной разностной схеме. По своему существу алгоритм построен на основе известного метода контрольных объемов, теоретическое обоснование которого совпадает с обоснованием метода конечных разностей [4]. Согласно данному методу расчетная область разбивается на криво-

линейные элементы системой ортогональных поверхностей. Для каждого элемента записывается уравнение теплового баланса, которое без учета тепломассопереноса имеет вид:

$$\Delta\tau \cdot \sum_{i=1}^3 (q_i^1 \cdot F_i^1 - q_i^2 \cdot F_i^2) = C \cdot m \cdot \Delta\theta, \quad (1)$$

где $\Delta\theta$ – изменение средней по элементу температуры за время $\Delta\tau$; q_i^1, q_i^2 – тепловые потоки через площади F_i^1, F_i^2 по i -й координате (соответственно в направлении, противоположном i -й координатной оси, и в направлении, совпадающем с i -й координатной осью); C – теплоёмкость; m – масса элемента.

Плотность теплового потока (в случае теплопередачи теплопроводностью) прямо пропорциональна градиенту температуры

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } \theta, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности.

Для граничных элементов могут иметь место случаи теплопередачи конвекцией или излучением. Тогда соответствующие тепловые потоки на границе записываются, исходя уже из конкретной зависимости от температур поверхности и среды, коэффициента теплоотдачи, степени черноты поверхности и так далее (например, закон Стефана-Больцмана для теплопередачи излучением или соотношения для конвективной теплоотдачи с плоской стенкой), что принципиально не меняет разностной схемы и успешно может быть реализовано в её рамках.

Градиент температуры (2) записывается в разностном виде и подставляется в (1), после чего выполняются некоторые преобразования уравнений (1) для каждого элемента. В итоге на каждом шаге по времени формируется симметричная матрица и вектор правых частей системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных значений температур контрольных объемов в конце этого шага. Элементы матрицы содержат информацию о теплофизических характеристиках, значения которых взяты при известных температурах контрольных объемов в начале этого шага, и о размерах этих объемов. Матрица имеет диагональное преобладание, что позволяет для вычисления искомых температур использовать метод Якоби.

Данный метод применяется для численного моделирования температурных полей в некоторых задачах механики сплошных сред, однако, очевидно, не может быть использован в таком виде для корректного описания процессов распространения тепла при наличии фазового перехода, так как правая часть уравнения теплового баланса (1) не содержит в себе выделяющейся непосредственно в процессе кристаллизации скрытой теплоты.

Моделирование процесса кристаллизации стали

В процессе затвердевания стали образуется двухфазная зона между изотермическими поверхностями солидуса и ликвидуса [5; 6]. При этом остывание расплава от температуры ликвидуса θ_l до температуры солидуса θ_s сопровождается выделением скрытой теплоты кристаллизации L (удельной по массе). Поэтому в данной работе предлагается следующая запись уравнения теплового баланса для элемента:

$$\Delta\tau \cdot \sum_{i=1}^2 (q_i^1 \cdot F_i^1 - q_i^2 \cdot F_i^2) = m \cdot (C \cdot \Delta\theta + L). \quad (3)$$

Предположим следующую схему выделения скрытой теплоты при кристаллизации, соответствующую качественным представлениям о ходе этого процесса (см. рис. 1). Выделение скрытой теплоты кристаллизации начинается при достижении расплавом температуры ликвидуса и продолжается до достижения температуры солидуса, при этом удельное на градус Цельсия выделение тепла $l(\theta)$ линейно растёт от нуля при $\theta = \theta_l$ до некоторого макси-

мального значения A при $\theta = (\theta_l + \theta_s)/2$, а затем также линейно начинает снижаться и достигает нуля при $\theta = \theta_s$.

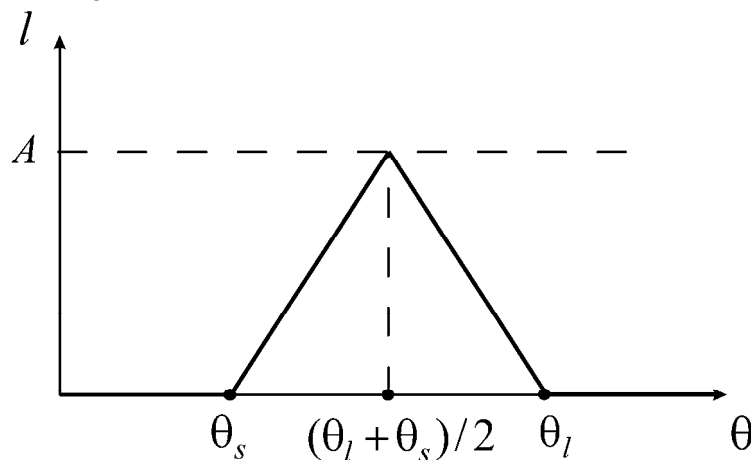


Рис. 1. Схема выделения скрытой теплоты кристаллизации

Так как $L = \int_{\theta_s}^{\theta_l} l(\theta) d\theta$, а указанный определенный интеграл, в свою очередь, пред-

ставляет собой площадь треугольника, то из геометрических соображений имеем $A = 2 \cdot L / (\theta_l - \theta_s)$. Исходя из этого, запишем в аналитическом виде удельное на градус Цельсия выделение теплоты кристаллизации

$$l(\theta) = \begin{cases} 0, \text{ при } \theta \notin (\theta_s, \theta_l) \\ \frac{2 \cdot L}{\theta_l - \theta_s} \cdot \left[1 - \frac{|2 \cdot \theta - \theta_l - \theta_s|}{\theta_l - \theta_s} \right], \text{ при } \theta \in (\theta_s, \theta_l) \end{cases} \quad (4)$$

Тогда уравнение (3) имеет вид

$$\Delta \tau \cdot \sum_{i=1}^2 (q_i^1 \cdot F_i^1 - q_i^2 \cdot F_i^2) = [C(\theta) + l(\theta)] \cdot m \cdot \Delta \theta, \quad (5)$$

что позволяет использовать описанную выше численную процедуру для определения температурных полей в условиях фазового перехода, учитывая таким образом выделение скрытой теплоты кристаллизации по соотношению (4).

Пример численного расчета

Рассматривается охлаждение от температуры $\theta|_{x \geq 0} > \theta_l$ и затвердевание расплава стали в области $x \geq 0$ (см. рис. 2). Температура области $x < 0$ считается постоянной на всем протяжении процесса, равной $\theta|_{x < 0} < \theta_s$. Начальная граница раздела фаз – поверхность S_1 , кроме нее, расчетная область ограничена поверхностями S_2, S_3, S_4 ; S_2 – условная верхняя граница, достаточно удаленная (в рассматриваемом примере – на расстояние 100 мм) от начальной поверхности раздела фаз. В этом случае тепловым воздействием слоя расплава, находящегося выше S_2 можно пренебречь.

Соответствующие граничные условия задачи по плотности тепловых потоков

$$q|_{S_1} = -\lambda \cdot \text{grad} \theta, \quad q|_{S_2} = q|_{S_3} = q|_{S_4} = 0.$$

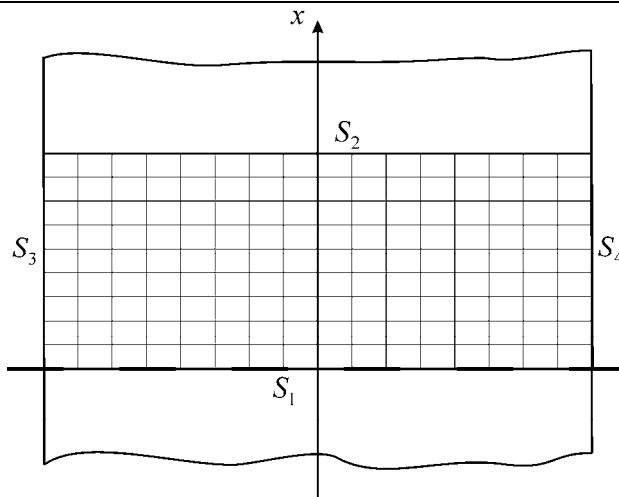


Рис. 2. Схема тестовой задачи

Начальные условия

$$\theta|_{x<0} = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}, \theta|_{x\geq 0} = 1550\text{ }^{\circ}\text{C}, \theta_l = 1490\text{ }^{\circ}\text{C}, \theta_s = 1400\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплофизические параметры стали (марка 45Л) приближенно принимались неизменными в ходе процесса; по справочным данным в соответствующем температурном диапазоне [7; 8]: плотность $\rho = 7200\text{ кг/м}^3$, теплоемкость $C = 700\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 28\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$; удельная скрытая теплота кристаллизации $L = 0,27 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$.

Для оценки адекватности предложенного способа сравним полученные результаты с аналитическим решением уравнения межфазового перехода (условие Стефана на границе раздела фаз)

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial x} - \lambda_2 \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial x} = L \cdot \rho \cdot \frac{dh}{d\tau}, \quad (6)$$

при некоторых упрощающих предположениях, довольно справедливых для рассматриваемой модельной задачи: градиент температуры в жидкой фазе равен нулю, то есть $\frac{\partial \theta_2}{\partial x} = 0$, температура в твердой фазе по толщине изменяется по линейному закону, при этом температура

на поверхности раздела фаз равна температуре ликвидуса, то есть $\frac{\partial \theta_1}{\partial x} = \frac{\theta_l - \theta|_{x<0}}{h}$. Тогда

уравнение (6) сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными, решение которого:

$$h(\tau) = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot (\theta_l - \theta|_{x<0})}{\rho \cdot L} \cdot \tau}. \quad (7)$$

Выводы

На рис. 3 приведены результаты численных расчетов. Кривая 1 представляет собой зависимость толщины h отвердевшего слоя стали от времени процесса, рассчитанную по формуле (7). Кривая 2 – зависимость толщины слоя стали, температура которого опустилась ниже температуры ликвидуса, полученная в результате численных расчетов по описанной схеме (5) с учетом (4) с шагом по времени 0,25 с. Видно вполне приемлемое совпадение расчетной кривой с аналитическим решением поставленной модельной задачи.

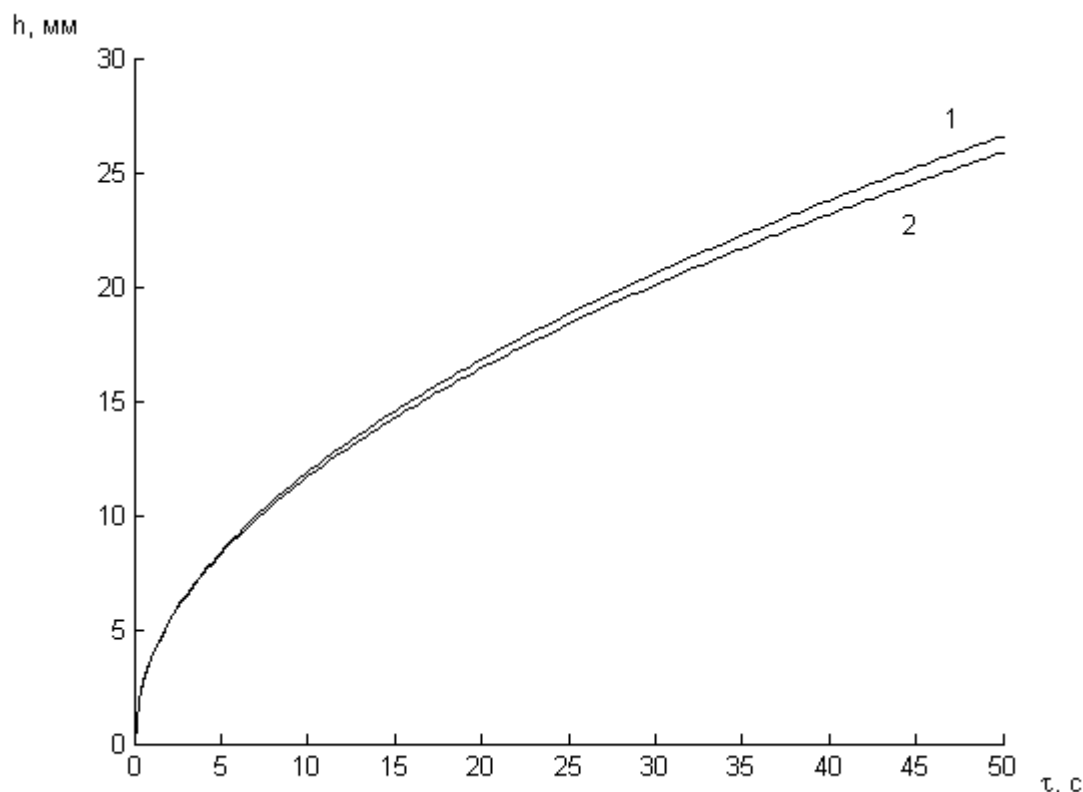


Рис. 3. Сравнение результатов расчета с теоретической кривой

Данный способ довольно прост и может быть использован при расчете температурных полей литейных систем в условиях фазового перехода, в особенности при сложной геометрии отливки, то есть в тех случаях, когда точное аналитическое решение задачи затруднительно. Его разумная область применения – расчет отливок из сталей, так как процессы затвердевания чистых металлов или интерметаллических соединений, имеющих фиксированное значение температуры плавления, не включают выраженной площадки двухфазности (температуры ликвидуса и солидуса практически совпадают), и скрытая теплота кристаллизации в таких металлах выделяется на протяжении крайне узкого температурного интервала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов, А. И. Уравнения математической физики / А. И. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
2. Математическое моделирование сложных технологических процессов / В. И. Одинокоев, Б. Г. Каплунов [и др.]. – М.: Наука, 2008. – 176 с.
3. Одинокоев, В. И. Численное исследование процесса деформации материалов бескоординатным методом / В. И. Одинокоев. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 168 с.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 656 с.
5. Баландин, Г. Ф. Основы теории формирования отливки / Г. Ф. Баландин. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
6. Борисов, В. Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка / В. Т. Борисов. – М.: Metallurgy, 1987. – 224 с.
7. Шишков, М. М. Марочник сталей и сплавов / М. М. Шишков. – Донецк: Юго-Восток, 2002. – 456 с.
8. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

Марьин С. Б. Куриный В. В., Куриная Н. П., Черников Р. В., Прилуцкий Н. В.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШТАМПОВКИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «QFORM»
В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «АСКОЛЬД» Г. АРСЕНЬЕВ

Марьин С. Б. Куриный В. В., Куриная Н. П., Черников Р. В., Прилуцкий Н. В.
S.B.Maryin, V.V.Kuriniy, N.P.Kurinaja, R.V.Chernikov, N.V.Priltskij

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШТАМПОВКИ В ПРОГРАММНОМ
КОМПЛЕКСЕ «QFORM» В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «АСКОЛЬД»
Г. АРСЕНЬЕВ**

**EMULATION OF HOT FORGING PROCESSES USING THE QFORM SOFTWARE
PACKAGE, AT THE JSC ASKOLD IN THE TOWN OF ARSENYEV**



Марьин Сергей Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: maryinsb@mail.ru.

Mr.Sergey B. Maryin – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail maryinsb@mail.ru.



Куриный Владислав Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtlp@knastu.ru.

Mr.Vladislav V. Kuriniy – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmtlp@knastu.ru.



Куриная Наталья Петровна – старший преподаватель кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtlp@knastu.ru.

Ms.Natalya P. Kurinaja – Senior Lecturer of the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmtlp@knastu.ru.



Черников Роман Викторович – инженер-технолог III категории кузнечного бюро отдела главного металлурга ОАО «Аскольд» (Россия, Арсеньев). E-mail: chernikov_roman@mail.ru.

Mr. Roman V. Chernikov – Class 3 Process Control Engineer of the Forge Bureau of the Chief Metallurgist's Department, JSC Askold; Primorye Region, town of Arsenyev. E-mail chernikov_roman@mail.ru.



Прилуцкий Николай Владимирович – студент специальности 150106 – Обработка металлов давлением Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: priluckii_nikolai@mail.ru.

Mr.Nikolay V. Prilutsky – undergraduate student of Metal forming (Discipline # 150106). E-mail priluckii_nikolai@mail.ru.

Аннотация. В статье рассмотрен опыт применения программного комплекса «QForm 3D» при моделировании горячей объемной штамповки в условиях производства ОАО «Аскольд» г. Арсеньев.

Summary. The paper considers the experience of using the QForm 3D package for simulation of hot forging processes at the JCS Askold plant in the town of Arsenyev.

Ключевые слова: моделирование, горячая объемная штамповка, дефекты.

Key words: simulation, hot forging, defects.

УДК 621.98

В настоящее время применение программных комплексов САПР является актуальной задачей машиностроения и, в частности, в обработке металлов давлением. Эффективность применения моделирования штамповки основывается на возможности практического решения широкого круга технических проблем, встречающихся при разработке и оптимизации технологии и инструмента на предприятиях Дальневосточного региона. К таким проблемам относятся оптимизация течения металла, экономия металла и энергии, повышение стойкости инструмента. Крайне важно также точное предсказание штамповочных дефектов и определение путей их исправления [1]. В этой области наиболее известны и широко применяются программные комплексы «QForm 3D» и «DEFORM».

В связи с отсутствием на ОАО «Аскольд» программных комплексов отделом главного металлурга было принято решение отправить 3D модель штампа KB-14165СБ (материал штампа – сталь 5ХНМ) и заготовки корпуса авиационного Д7.8710-1721 (материал заготовки – сталь 13Х11Н2В2МФ) в ГОУВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» для конечно-элементного моделирования данного корпуса. Кафедра «Машины и технология литейного производства» КНАГТУ является авторизированным центром по обучению работе в программном комплексе «QForm 3D» и имеет опыт подобных работ [2]. Вышеуказанные детали штампуются на кривошипном горячештампочном прессе усилием 2500 т.с. (25МН), облой обрубается на кривошипном прессе усилием 400 т.с. (4МН). Температура нагрева заготовок 1150 °С. Штамп подогревается до 350 °С. Специалистами кафедры был произведен расчет и моделирование процесса штамповки при помощи программного комплекса математического моделирования процессов горячей объемной штамповки «QForm 3D». При моделировании рассчитывались исходная форма, приведенная на рис. 1.

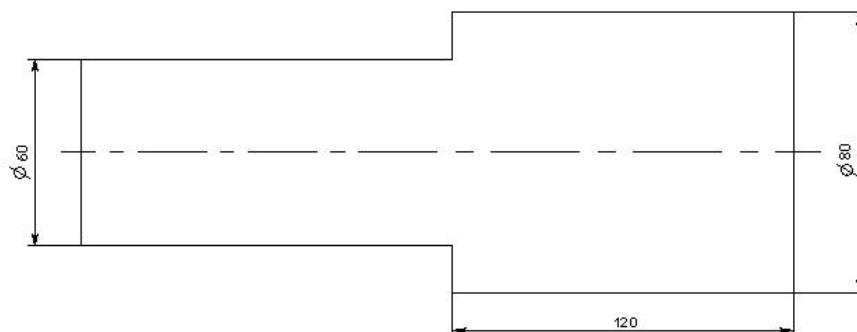


Рис. 1. Заготовка перед штамповкой

Окончательный вид отштампованной поковки, разработанной и смоделированной в QForm, приведен на рис. 2. На рис. 3 приведен разрез смоделированной поковки. Красными (серыми) точками отмечены места возможных возникновения дефектов.

Марьин С. Б. Куриный В. В., Куриная Н. П., Черников Р. В., Прилуцкий Н. В.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШТАМПОВКИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «QFORM»
В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «АСКОЛЬД» Г. АРСЕНЬЕВ

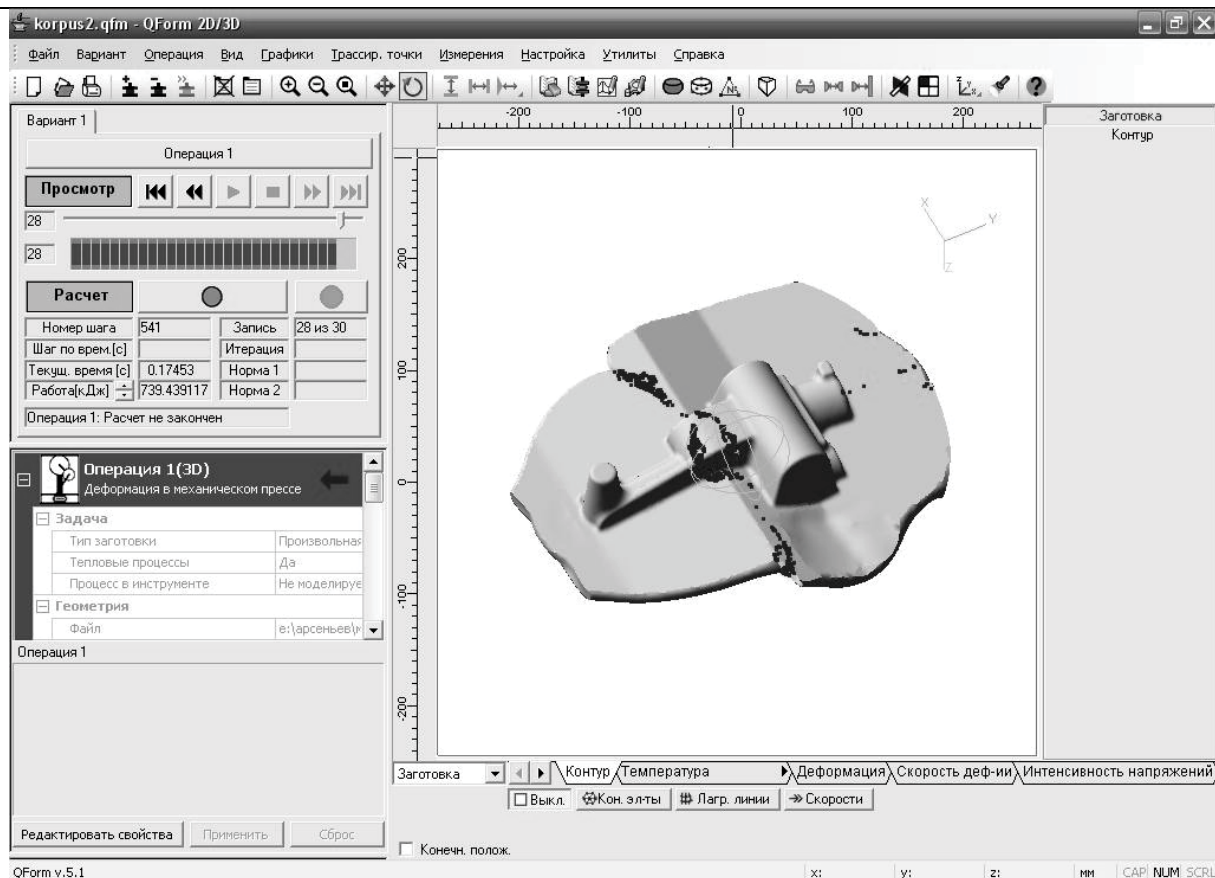


Рис. 2. Вид сверху штампованной поковки

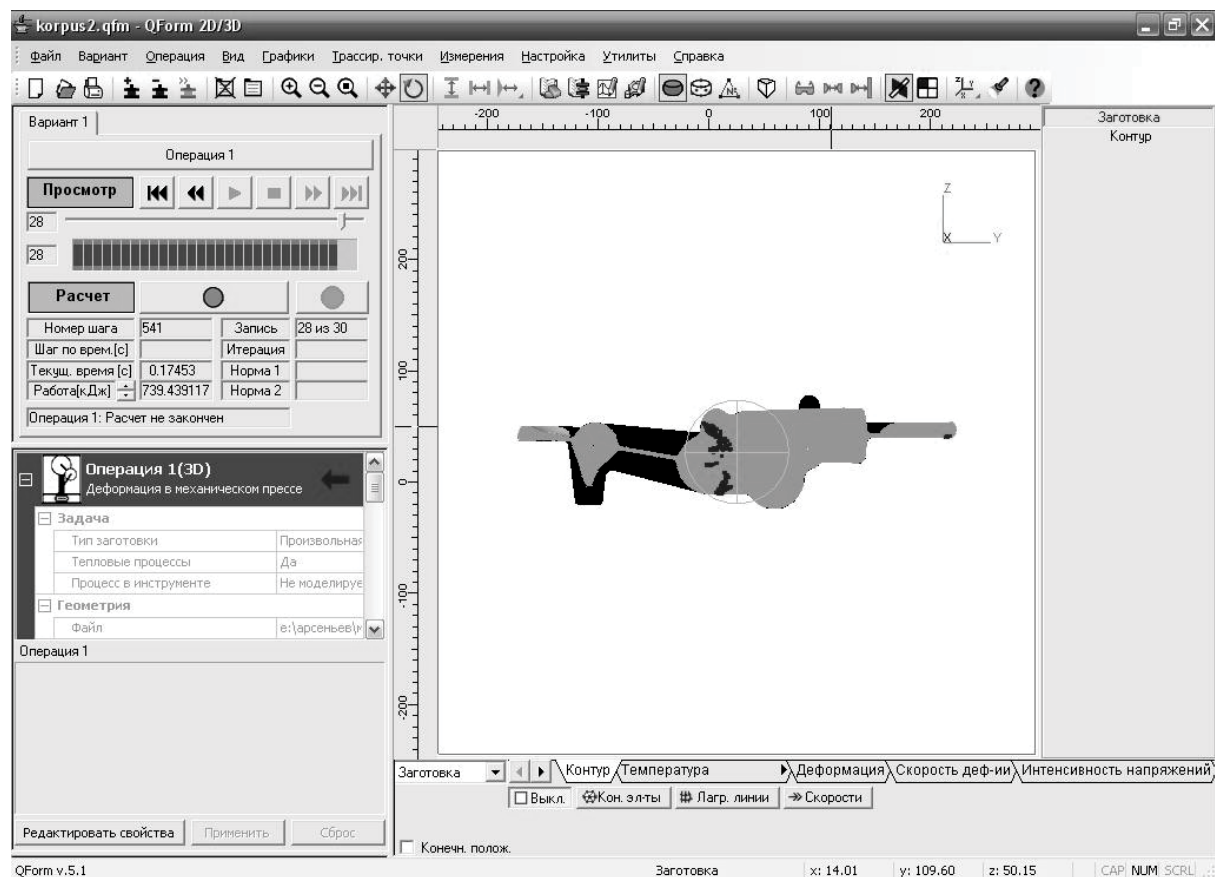


Рис. 3. Разрез поковки

Из рисунков отчетливо видно, что форма заготовки типа «гранаты» является ошибочной и в результате предполагается появление дефекта «зажим» на поверхности поковки.

С целью определения достоверности полученных результатов была изготовлена опытная партия заготовок корпуса Д7.8710-1721 горячей объемной штамповкой рис. 4 – 5.



Рис. 4. Фотография лицевой стороны изготовленной заготовки корпуса Д7.8710-1721 с дефектом

Проявившие в результате изготовления пробной партии дефекты полностью соответствуют предсказанным программным комплексом «QForm 3D».



Рис. 5. Фотография тыльной стороны изготовленной заготовки корпуса Д7.8710-1721 с дефектом

В настоящее время появилась необходимость в изготовлении штамповок корпуса АТЭК.731736.020 горячей объемной штамповкой. Из-за отсутствия программного комплекса «QForm 3D» на предприятии не удалось предугадать сложное течение металла в полости штампа. Результат представлен на рис. 6.



Рис. 6. Дефекты на поверхности штамповки корпуса АТЭК.731736.020

На рисунке отчетливо видны неисправимые дефекты, такие как зажимы, расслоения, недоштамповка.

На основании вышеизложенного и ранее проведенных исследований [2] можно сделать следующие выводы. Моделирование процесса горячей объемной штамповки при помощи программного комплекса «QForm 3D» позволяет получить виртуальные модели поковки и штампа. Полученные модели хорошо подтверждаются практикой. Применение программного комплекса математического моделирования процессов горячей объемной штамповки «QForm 3D» позволяет оперативно реагировать на возникающие на производстве задачи, снижает затраты времени на разработку технологии изготовления поволок и штампов, приводит к снижению неоправданных потерь дорогостоящего металла и себестоимости изготовления заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка и применение программы моделирования трехмерной объемной штамповки QForm 2D/3D // СаПР и графика. – 2001. – № 9.
2. Разработка прогрессивной технологии горячей объемной штамповки детали № Т7.92.0300.001.000 «Окантовка иллюминатора» изделия SSJ-100 номенклатуры ОАО «КнААПО» в программном комплексе QForm 3D / С. П. Мазур, Л. В. Катанаев, Ю. Г. Таланчук, Р. А. Физулаков, С. Б. Марьин, А. И. Олейников // Международный симпозиум «Образование, наука и производство: проблемы, достижения и перспективы»: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств» (Комсомольск-на-Амуре, 27-30 сентября 2010 г.). В 5 т. Т. 2 / редкол.: А. М. Шпилёв (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 448 с.

ФЛОТ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ FLEET AND SHIPBUILDING

Тарануха Н. А., Кошкин С. В., Селиванов Е. И., Шадрин М. П.
N.A.Taranukha, S.V.Koshkin, E.I.Selivanov, M.P.Shadrin

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ БУКСИРОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЕЙ СУДОВ В ОПЫТОВОМ БАССЕЙНЕ

A METHOD FOR PROCESSING THE RESULTS OF TOWING TESTS ON SHIP MODELS IN A MODEL BASIN



Тарануха Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Mr. Nikolay A. Taranukha – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Shipbuilding Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: taranukha@knastu.ru.



Кошкин Сергей Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Sergey V. Koshkin – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Shipbuilding Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University



Селиванов Евгений Игоревич – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Evgeny I. Selivanov – PhD candidate at the Department of Shipbuilding Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University



Шадрин Михаил Павлович – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Mikhail P. Shadrin – PhD candidate at the Department of Shipbuilding Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University.

Аннотация. В статье показаны практические приемы графического и аналитического «сглаживания» зависимости сопротивления движению модели $R(v)$. Разработаны способ предсказания (прогнозирования) скорости движения модели, исходя из записи скорости движения модели на участке разгона, и метод определения важнейшей инерционной характеристики модели в процессе модельных испытаний для определения сопротивления воды движению судна.

Summary. The paper presents some practical techniques of graphical and analytical "smoothing" of the resistance-to-motion graph for a model ($R(v)$). A method is proposed for prediction (forecasting) of the velocity of a model's movement via recording the speed of the model along the acceleration area; also a method is suggested for determining the essential inertial characteristic of a model during model tests in order to define water resistance to the vessel's motion.

Ключевые слова: кораблестроение, опытовый бассейн, модели судов, погрешность.

Key words: shipbuilding, towing basin, model ships, error.

УДК 629.5.018.712

Введение

Буксировочные испытания моделей судов в настоящее время являются наиболее достоверным способом прогнозирования сопротивления воды движению судна при его проектировании. Главной проблемой при использовании результатов буксировочных испытаний является только частичное воспроизведение характера обтекания судна на его модели (частичное подобие моделируемых потоков). Но кроме этой проблемы возникает и ряд других, которые и рассматриваются в настоящей работе. Как и любые технические измерения, измерения в опытовом бассейне производятся с погрешностью. Это приводит к тому, что для зависимости сопротивления модели R от скорости её движения v нарушается монотонность её возрастания с ростом скорости – кривая сопротивления $R(v)$ становится «не гладкой». Методы «сглаживания», рассматриваемые в настоящей работе, по существу, являются одним из этапов расчетного прогнозирования сопротивления модели по результатам буксировочных испытаний.

Другая проблема относится к малым опытовым бассейнам, с, соответственно, малым участком равномерного движения модели после её разгона, а то и полным его отсутствием. Для возможности использования малых по длине бассейнов как гидродинамической установки требуется разработать метод предсказания характеристик движения модели на участке равномерного движения по результатам замера характеристик на участке разгона.

Естественным желанием является возможность получения максимального количества характеристик (параметров) движения модели в процессе её испытаний. При наличии участка движения с торможением модели появляется возможность определить присоединенную массу воды, вызванную движением судна (модели).

1. Оценка погрешности. Исключение выбросов. «Сглаживание» кривой сопротивления воды движению модели

Результаты буксировочных испытаний модели судна на первом этапе их обработки сводятся к определению пар значений – сопротивление модели R и соответствующая скорость её движения v . Измерение R при использовании гравитационной буксировочной системы (ГБС) относится к классу косвенных измерений, так как R не определяется непосредственно, а «задается» буксировочным грузом P и уменьшается на величину потерь R_{Π} в узлах ГБС:

$$R = \frac{P}{n} - R_{\Pi},$$

где n – передаточное отношение ведущего (переднего) узла ГБС (см. рис. 1).

Погрешность измерения сопротивления ΔR в этом случае будет зависеть от погрешности измерения буксировочного груза ΔP и погрешности тарировочной кривой ΔR_{Π} .

Погрешность ΔP относится к инструментальной и может быть сведена к пренебрежимо малой за счет повышения точности взвешивания на весах. Тогда погрешность ΔR будет полностью определяться ошибкой тарировочной кривой $R_{\Pi}(v)$, т.е. переходить в класс прямых измерений. Эта погрешность ΔR минимизируется при тщательной тарировке потерь в буксировочной системе.

Определение скорости v , за счет принятой измерительной системы, также можно отнести к классу прямых измерений.

На первом этапе обработки результатов прямых измерений необходимо выявить так называемые «промахи» (выбросы), т.е. случайные, несистематические ошибки измерений. При отработанной методике буксировочных испытаний определяют только одну пару значений (v , R) в каком-то заданном диапазоне скорости. Таким образом, исключение выбросов возможно проводить только на этапе отработки методики модельных испытаний или при определении сопротивления морских объектов с особым характером обтекания корпуса, а также в областях резкого изменения сопротивления («горбов сопротивления»).

Применение ГБС дает возможность при повторных испытаниях исследовать на промах только полученные значения скорости (R , определяемое весом буксировочного груза P и потерями $R_{\text{л}}$, постоянно). Минимальное количество пробегов модели, при котором возможен анализ ошибок в определении v , равно трем. На практике возможно увеличение числа пробегов модели. Но оказывается [3; 10], что одновременно с увеличением точности среднего значения скорости вероятность появления больших отклонений (промахов), возникающих вследствие статистического разброса, растет при увеличении числа измерений. Более детально с вопросами оценки погрешностей измерений, в том числе, связанных с окружением численных значений результатов, можно ознакомиться в работе [9].

Суть исключения выбросов заключается в том, что из трех значений скорости v_1 , v_2 и v_3 выбирается подозрительное максимальное v_{max} или минимальное значение v_{min} и определяется случайная величина [3; 10]: $\nu = 1,225(v_{\text{max}} - \bar{v})/\Delta S_3$ – в первом случае или $\nu = 1,225(\bar{v} - v_{\text{min}})/\Delta S_3$ – во втором. Здесь под ΔS_3 понимается корень квадратный из дисперсии отклонений трех измерений скорости $\Delta S_3^2 = [(v_1 - \bar{v})^2 + (v_2 - \bar{v})^2 + (v_3 - \bar{v})^2]/2$ от среднего значения скорости $\bar{v} = (v_1 + v_2 + v_3)/3$. Вычисленный параметр ν сравнивается со значением 1,41. В случае $\nu < 1,41$ разброс значений ν объясняется статистическим разбросом с надежностью не менее 99 %, а при $\nu > 1,41$ подозрительное значение v_{max} или v_{min} является выбросом и должно быть исключено из серии измерений (не принято к обработке). Соответственно, после проведенного анализа к обработке принимается среднее значение скорости $\bar{v} = (v_1 + v_2)/2$ – при наличии промаха, и $\bar{v} = (v_1 + v_2 + v_3)/3$ – при его отсутствии.

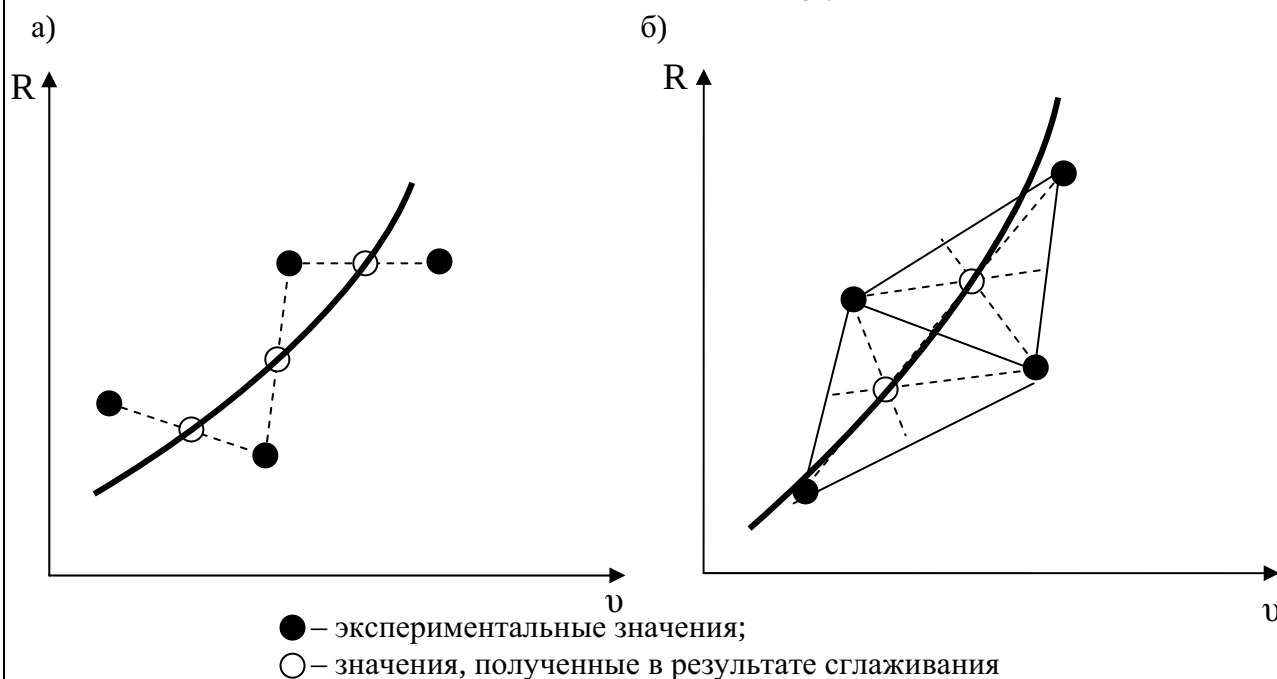


Рис. 2. Сглаживание кривой $R(v)$: а – по двум соседним точкам;
б – по трем соседним точкам

При буксировочных испытаниях моделей судов традиционного типа (без гидродинамических особенностей) определяют одну пару значений (v, R) в интересующем диапазоне чисел Фруда с заданным шагом. Целью обработки результатов модельных испытаний является получение зависимости коэффициента остаточного сопротивления $C_{ост}(v)$. Для этого по полученным парам значений (v, R) должна быть построена кривая сопротивления модели $R(v)$, которая из-за погрешностей измерений не является гладкой (см. рис. 2). Проводится процедура сглаживания кривой, которая является, по существу, методом исключения погрешностей. Непосредственными методами сглаживания являются графические [5].

Наиболее простым является метод нахождения средних значений по абсциссам и ординатам двух соседних точек. Смысл метода понятен из рис. 2, а.

Более сильное сглаживание получается при отыскании средних значений с использованием трех соседних точек. Они принимаются за вершины треугольника, центр тяжести которого находится в точке пересечения медиан. Суть метода проиллюстрирована на рис. 2, б.

В отношении процедуры графического сглаживания надо отметить следующие обстоятельства:

- последний способ сглаживания аналогичен стандартному решению навигационной задачи по определению места судна по трем взятым пеленгам [6; 7], апробированному многолетней морской практикой;

- перед процедурой сглаживания необходимо проанализировать: не является ли значение $R(v)$ в отдельных районах результатом резкого изменения сопротивления – «горбом» сопротивления? Это, в первую очередь, относится к судам с динамическими принципами поддержания, а также к водоизмещающим судам. У последних «холмы» и «впадины» на кривой $R(v)$, вызванные интерференцией носовой и кормовой системы волн, зависят от параметров формы корпуса судна и числа Фруда $Fr = v/\sqrt{gL}$ (здесь L – длина по ватерлинии) [5] и могут проявляться уже со значения $Fr = 0,17$;

- точки, полученные сглаживанием, как по первому, так и второму способу, для достижения большей степени сглаживания могут быть подвергнуты новому (повторному) сглаживанию.

Математическое представление (интерполяция), а значит и сглаживание кривой $R(v)$ применяется только в отдельных случаях. Вызвано это, в первую очередь, тем, что любой способ основан на тех или иных предположениях. В частности, не известен сам вид математической зависимости (вид функции) $R(v)$ для реальных форм корпусов судов.

Возможные методы интерполяции многочисленны [1]: регрессивный анализ, гармонический анализ с помощью рядов Фурье и т.д. Наиболее распространенным способом подбора коэффициентов функции, отображающей полученные экспериментальные точки кривой сопротивления $(v_1, R_1), (v_2, R_2), \dots, (v_k, R_k)$, считается метод наименьших квадратов, что априори подразумевает, что разброс пар значений (v_i, R_i) , полученных в результате эксперимента от действительной кривой $R(v)$, подчиняется закону нормального распределения Гаусса. Наиболее употребительной является параболическая интерполяция [1; 3; 10]

$$R = a_1 v + a_2 v^2 + \dots + a_n v^n. \quad (1)$$

Для наилучшего приближения $R(v)$ в соответствии с (1), т.е. для численного определения коэффициента a_j , используется известное положение, что сумма квадратов всех отклонений ординат точек кривой $\Delta S^2 = \sum_1^k [R_i - (a_0 + a_1 v + \dots + a_n v_i^n)]^2$ будет минимальной. Это имеет место, когда все частные производные ΔS^2 по коэффициентам a_j равны нулю $\partial \Delta S^2 / \partial a_j = 0$ при $j = 0, 1, 2, \dots, n$, что дает систему $n+1$ линейных уравнений для определения такого же числа коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$.

Общий вид уравнений системы для определения a_j будет

$$\sum_{i=1}^k v_i^j [R_i - (a_0 + a_1 v_i + a_2 v_i^2 + \dots + a_n v_i^n)]^2 = 0 \text{ при } j = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Таким образом, число коэффициентов n в полиномиальном разложении (1) ограничено количеством полученных точек (v_i, R_i) при модельных испытаниях и для надежного математического представления $R(v)$ в соответствии с (1) должно быть не менее 6 – 7.

2. Определения скорости моделей при испытаниях высокоскоростных судов и большегрузных моделей

Основной проблемой малых опытовых бассейнов является малая длина участка равномерного движения, на которой и определяется скорость движения модели v под действием буксировочного усилия P . В отдельных случаях (при испытании высоко-скоростных судов и моделей значительных размеров) участок равномерного движения может отсутствовать (см. рис. 3, а).

Для расширения возможностей бассейна, когда участок равномерного движения отсутствует, предлагается метод определения (предсказания) скорости равномерного движения v_0 по кривой $v(t)$.

Измерительное устройство бассейна позволяет фиксировать как среднюю скорость движения v_0 на мерном участке равномерного движения, так и производить непрерывную запись изменения скорости во времени $v(t)$. При этом кривая $v(t)$ берется на последнем участке разгона модели (после прекращения действия разгонного устройства) с тем, чтобы скорость v отличалась от v_0 на малую величину.

Дифференциальное уравнение движения модели с переменной скоростью имеет вид

$$(D_M + \Delta D_1 + \Delta D_2) \frac{dv}{dt} = \frac{P}{n} - R_M(v) - P_{II}(v), \quad (2)$$

где D_M – масса модели; ΔD_1 – присоединенная масса воды; ΔD_2 – учитывает влияние инерции частей ГБС.

Для определения закона изменения скорости $v(t)$ будем придерживаться способа анализа скорости, предложенного академиком Г.Е. Павленко [5]. Им показано, что если разности скоростей $(v-v_0)$ малы и в разложении функции $f(v) = R_M(v) + P_{II}(v)$ в ряд Тэйлора ограничиться первыми членами разложения, то интеграл уравнения (2) имеет вид

$$v = v_0 - a e^{-bt}, \quad (3)$$

где a – постоянная интегрирования ($a > 0$ при замедленном движении и $a < 0$ при ускоренном); $b = (df / dv_0) / D$.

Таким образом, независимо от вида $R_M(v)$ и $R_{II}(v)$, на участке движения $v \rightarrow v_0$ кривая движения выражается одним и тем же асимптотическим законом, если рассматривать вопрос с точностью до малых второго порядка.

При использовании результатов записи пробега модели $v(t)$ задача определения v_0 сводится, в соответствии с (3), к определению постоянных a и b . Для этого достаточно взять три точки на кривой $v(t)$: (t_1, v_1) , (t_2, v_2) и (t_3, v_3) (см. рис. 3, б).

В результате имеем три равенства вида

$$\begin{cases} v_1 = v_0 - a e^{-bt_1}; \\ v_2 = v_0 - a e^{-bt_2}; \\ v_3 = v_0 - a e^{-bt_3}, \end{cases}$$

после исключения из которых коэффициентов a и b получим искомую зависимость $v_0(v_1, v_2, v_3, t_1, t_2, t_3)$ в неявном виде.

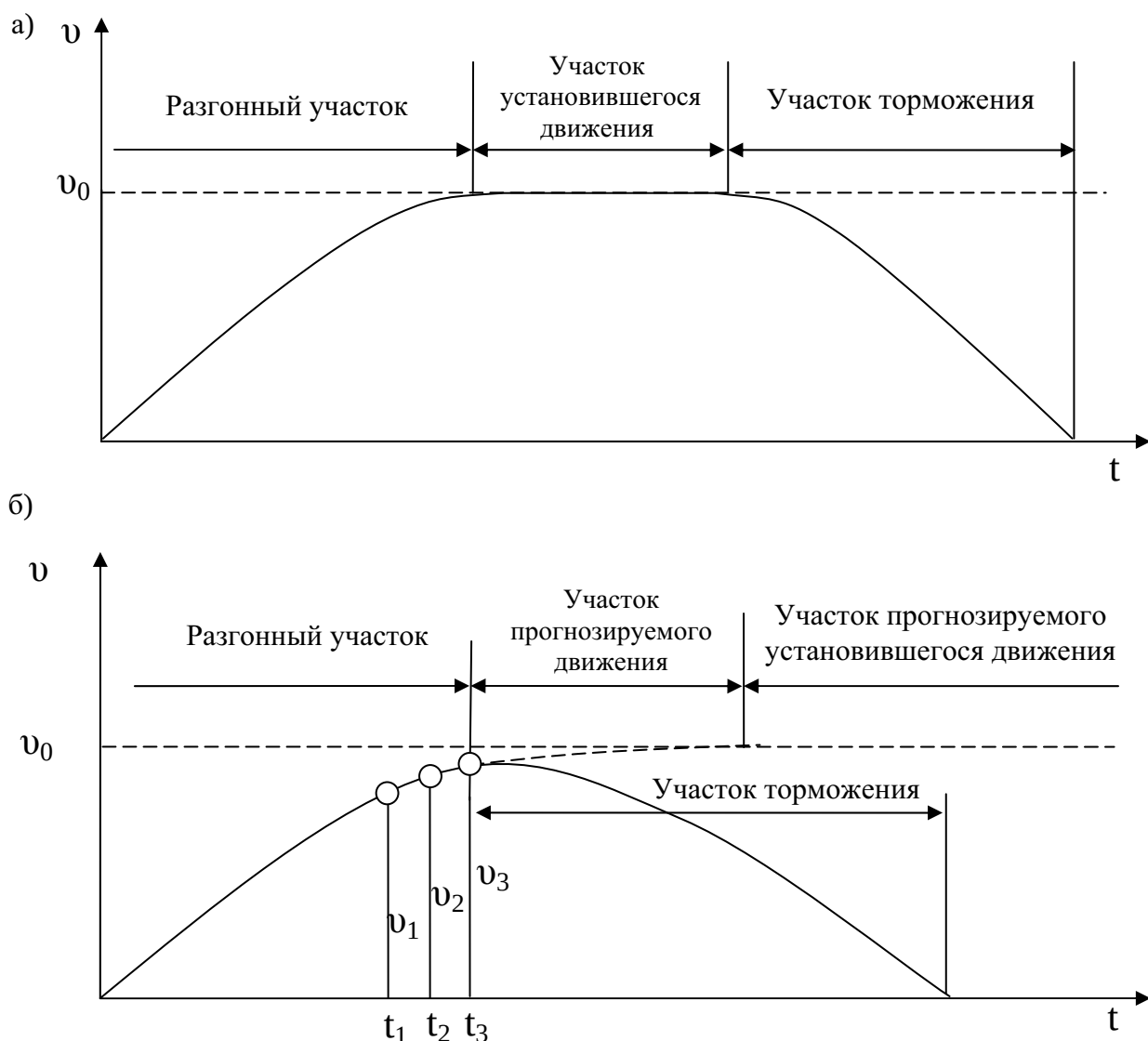


Рис. 3. Изменение скорости модели $v(t)$: а – с участком равномерного движения; б – при отсутствии участка равномерного движения (с прогнозированием скорости равномерного движения v_0)

Искомая скорость равномерного движения может быть получена в явном виде по формуле

$$v_0 = (v_1 v_3 - v_2^2) / (v_1 + v_3 - 2v_2).$$

При этом необходимо взять равные интервалы времени $(t_2 - t_1) = (t_3 - t_2)$. Для повышения точности прогнозируемой скорости v_0 необходимо брать точки (t_1, v_1) , (t_2, v_2) и (t_3, v_3) на последней четверти максимально возможно разгонного участка. Продолжительность разгона ограничена техническими возможностями бассейна (необходимостью достаточно плавного торможения модели)

Такой метод предсказания скорости значительно расширяет технические возможности малых опытовых бассейнов.

3. Определение инерционных характеристик судна по результатам буксировочных испытаний

Одной из важнейших характеристик судна является присоединенная масса воды ΔD_1 . Она фигурирует в расчетах параметров неустановившегося движения судна – выбег, разгон, остановка при реверсе гребными винтами и т.д. Величину ΔD_1 принято определять в долях от массы судна D в виде коэффициента $k = \Delta D_1 / D$.

Наиболее простым способом определения k является приравнивание его аналогичному коэффициенту для эллипсоида вращения, обтекаемого идеальной безграничной жидкостью с отношением размеров одинаковым с судном [4]. Эти значения k применяются только для первоначальных (оценочных) расчетов движения судна из-за погрешностей, вызванных несовпадением с формой корпуса судна, неучетом влияния вязкости и волнообразования на поверхности воды. Для судовых обводов более точным является расчет по методу плоских сечений [2; 4; 8]. Но и эти результаты не учитывают влияние вязкости и волнообразования.

Наиболее достоверными являются значения k , определяемые экспериментальными методами на режимах неустановившегося движения модели. При проведении эксперимента теоретически необходимо выполнить одновременно три условия (критерия) динамического пособия потоков:

$$1) \text{ по числу Фруда } Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}};$$

$$2) \text{ по числу Рейнольдса } Re = \frac{v \cdot L}{\nu};$$

$$3) \text{ по числу Струхала } Sh = \frac{L \cdot T}{v},$$

где v – скорость модели; L – характерная длина; T – время.

Однако одновременное выполнение этих трех критериев является технически невозможным, так как приводит к противоречивости требований к параметрам эксперимента.

В связи с этим используются следующие «приемы». Для исключения (минимизации) влияния вязкости общепринято проводить испытания при $Re = (v_M L_M / \nu) > 10^6$, т.е. в области автомодельности. Это автоматически предопределяет, что число Фруда модели (при значении коэффициента кинематической вязкости воды для $t = 10^\circ \text{C}$ $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) должно быть

$$Fr_M > 0,41 \cdot L_M^{-1,5}. \quad (4)$$

При экспериментальном определении k основным уравнением, описывающим движение модели, является уравнение (2). Для исключения необходимости моделирования движения с учетом неизменности числа Sh в уравнении (2) значение сопротивления $R_M(v)$ и потерь $R_{\Pi}(v)$ определяются исходя из гипотезы стационарности [4]: они принимаются соответствующим значениям R_M и R_{Π} при скорости равномерного движения, равной мгновенной скорости неравномерного движения. Уравнение движения (2) позволяет для участка движения судна по инерции (действие буксировочного усилия прекращено, т.е. $P/n = 0$) выразить коэффициент присоединенной массы в виде

$$k = \frac{R_M(v) + R_{\Pi}(v)}{D_M \cdot \left| \frac{dv}{dt} \right|} - \frac{\Delta D_2}{D_M} - 1, \quad (5)$$

(здесь $dv/dt < 0$ при замедленном движении). Потери $R_{\Pi}(v)$ и ΔD_2 определяются тарировкой и конструкцией ГБС. Значение ускорения dv/dt может быть непосредственно определено

по кривой непрерывной записи скорости модели $v(t)$. Эти значения могут существенно меняться на пути торможения. Так, для модели длиной $L_M = 3$ м условие (4) сводится к требованию $Fr_M > 0,08$. Но при таком режиме движения волнообразования практически не будет. Поэтому более обоснованным будет повысить минимальное число Рейнольдса до значения $Re = 1,5 \cdot 10^6$, что оправданно результатами испытания обтекания профилей [4]. Тогда требование к минимальному значению числа Fr возрастет до величины $Fr_M > 0,12$, для малых моделей с $L_M = 3$ м. При этом значении Fr волнообразование уже начинает проявляться. Таким образом, ускорение dv/dt должно определяться на начальном этапе торможения модели и не должно быть ниже значения $Fr_M \approx 0,12$. Для повышения точности определения k они могут быть вычислены для нескольких значений скорости $v(t)$. Если этих значений будет три – k_1 , k_2 и k_3 , то можно провести дополнительный анализ на наличие выбросов, полностью идентичный анализу, сделанному для скорости модели, и в качестве результата принять среднее значение $k = (k_1 + k_2 + k_3)/3$.

Заключение

1) В работе показаны практические приемы графического и аналитического «сглаживания» зависимости сопротивления движению модели $R(v)$, обусловленные погрешностями измерений. Это позволяет частично исключить эти погрешности при дальнейшей обработке результатов буксировочных испытаний модели в опытовом бассейне.

2) Разработан способ предсказания (прогнозирования) скорости движения модели исходя из записи скорости движения модели на участке разгона. Применение этого способа переводит малые опытовые бассейны, по своим техническим возможностям, в разряд бассейнов достаточной длины.

3) Разработан метод определения важнейшей инерционной характеристики модели (а значит и судна) в процессе модельных испытаний для определения сопротивления воды движению судна. Это, в свою очередь, также расширяет технические возможности опытовых бассейнов с гравитационной буксировочной системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 9-е изд. – М.: Наука. Физматгиз, 1998. – 608 с.
2. Жинкин, В. Б. Теория и устройство корабля / В. Б. Жинкин. – 4-е изд. – СПб.: Судостроение, 2010. – 408 с.
3. Кассандрова, О. Н. Обработка результатов наблюдений / О. Н. Кассандрова, В. В. Лебедев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 104 с.
4. Короткин, А. И. Присоединенные массы судостроительных конструкций / А. И. Короткин. – Л.: Мор Вест, 2007. – 448 с.
5. Павленко, Г. Е. Сопротивление воды движению судов / Г. Е. Павленко. – М.: Морской транспорт, 1956. – 508 с.
6. Снопков, В. И. Управление судном: учеб. для вузов / В. И. Снопков. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.
7. Справочник капитана дальнего плавания / под ред. Г. Г. Ермолаева. – М.: Транспорт, 1988. – 248 с.
8. Справочник по теории корабля. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
9. Тарануха, Н. А. Численное моделирование прочности и гидродинамики океанотехники / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин, С. Д. Чижиумов, И. Н. Журбина. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 340 с.
10. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений: учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.

Воронова В. В.
V. V. Voronova

АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ ПЕРСОНАЛОМ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

ASSESSMENT OF THE CASES OF PERSONNEL'S INFRINGEMENT OF REGULATIVE TECHNICAL DOCUMENTATION REQUIREMENTS , THROUGH APPLICATION OF SPECIAL INDICATORS



Воронова Валентина Валерьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: alvival@rambler.ru.

Ms. Valentina V. Voronova — PhD in Engineering, Senior Lecturer of the Health and Safety Studies Department, Komsomol-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: alvival@rambler.ru

Аннотация. В статье предложены показатели оценки нарушений персоналом требований нормативно-технических документов (НТД), анализ которых создает условия для принятия управленческих решений, направленных на предотвращение этих нарушений до того, как они реализовались в виде опасных ситуаций. Показано использование предложенной системы показателей на примере предприятий электроэнергетики.

Summary. The paper proposes a set of indicators to assess personnel's infringements of the requirements of regulative and technical documents, whose analysis creates conditions for managerial decision-making aimed at preventing such infringements before they have led to dangerous situations. The use of the proposed system of indicators is exemplified by evaluation of the problem at enterprises of electric power industry.

Ключевые слова: персонал, анализ, нормативно-технические документы, нарушения, управленческие решения.

Key words: personnel. analysis. regulatory and technical documents. violations. management decisions

УДК 331.45

В настоящей работе предлагается провести анализ нарушений персоналом требований НТД (правил, инструкций, распоряжений) с помощью разработанных показателей.

Каждое совершенное персоналом нарушение требований НТД создает вероятность возникновения опасных ситуаций: инцидентов, аварий, несчастных случаев, которые в свою очередь могут привести к человеческим жертвам и экономическим потерям.

Совершенные персоналом нарушения на энергопредприятиях фиксируются в индивидуальных учетных карточках нарушителей. Очень большая работа на предприятиях, входящих в состав РАО «ЕЭС России», проводится по выявлению нарушений и принятию мер воздействия к нарушителям. В этой части электроэнергетика является примером для предприятий других отраслей экономики.

На разных уровнях (энергопредприятие, АО-энерго) рассматриваются и анализируются следующие показатели: количество проверок, количество проверяющих, процентное распределение проверяющих по должностям, количество выявленных нарушений, число принятых мер, процент охвата проверками рабочих мест, коэффициент эффективности проверок



(число выявленных нарушений, приходящихся на одну проверку), иногда часто встречающиеся нарушения.

Таким образом, на предприятиях электроэнергетики организована и функционирует система учета нарушений, т.е. собирается и накапливается огромная статистическая база данных о нарушениях.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют достаточно эффективные показатели оценки нарушений персоналом, позволяющие после их анализа принимать обоснованные управленческие решения по снижению нарушений и, следовательно, снижению риска возникновения опасных ситуаций.

Целью настоящей работы является разработка системы специальных показателей оценки нарушений персоналом требований НТД, анализ которых создаст условия для разработки превентивных мероприятий до реализации опасных ситуаций.

Система специальных показателей включает в себя:

Показатель случаев нарушений на 100 работающих Π_n (уровень нарушений). Представляет собой интенсивный показатель и соответствует отношению числа случаев нарушений $\mathcal{U}_n$ за определенный период к средней численности работающих P за исследуемый период, умноженному на 100:

$$\Pi_n = \frac{\mathcal{U}_n}{P} \cdot 100.$$

Данный показатель позволяет следить за динамикой нарушений (даже в связи с изменением численности персонала) и проводить сравнительный анализ уровней нарушений среди цехов, предприятий и т.д.

Показатель структуры нарушений в случаях Π_{ni} – показатель, характеризующий долю нарушений определенного типа $\mathcal{U}_{ni}$ в общем количестве нарушений $\mathcal{U}_n$:

$$\Pi_{ni} = \frac{\mathcal{U}_{ni}}{\mathcal{U}_n} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Показатель позволяет определить вклад каждого типа нарушения в общее количество, с последующей возможностью определять приоритетные мероприятия.

Доля ни разу не нарушавших лиц F . Этот показатель рассчитывается по формуле

$$F = \frac{P_{nn}}{P} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где P_{nn} – число ни разу не нарушавших работников в течение исследуемого периода.

Показатель позволяет выявлять участки, цеха, предприятия или другие структурные подразделения, имеющие высокий уровень безошибочной работы персонала, в целях их поощрения и повышения культуры безопасности.

Кратность нарушений (по сумме нарушений или отдельному типу нарушений) – отношение числа случаев нарушений (по сумме нарушений или отдельному типу нарушений) $\mathcal{U}_n$ к числу нарушителей P_n в течение исследуемого периода (по сумме нарушений или отдельному типу нарушений):

$$K_n = \frac{\mathcal{U}_n}{P_n}.$$

Используется для выделения группы часто нарушающих лиц.

Погрупповые показатели нарушений. Целесообразно исчислять интенсивные показатели для отдельных возрастно-половых и профессиональных групп работников в зависимости от стажа работы и других признаков. Подобные коэффициенты рассчитываются по случаям нарушений и по числу нарушителей:

$$\text{ППН}_c = \frac{\mathcal{U}_{cno}}{P_o} \cdot 100,$$

$$ППН_{чи} = \frac{P_{но}}{P_o} \cdot 100,$$

где $Ч_{сно}$ – число случаев нарушений у работников определенной группы; P_o – число работников соответствующей группы (по полу, возрасту, профессии и др.); $P_{но}$ – число нарушителей среди работников определенной группы.

Погрупповые показатели исчисляются как для суммы нарушений, так и по отдельным типам нарушений, что позволяет более детально изучить особенности распространения отдельных типов нарушений среди различных групп работающих.

Предложенные показатели можно рассчитывать за определенный рассматриваемый период – месяц, квартал, год, а также вычисляются среднемноголетние уровни показателей. Среднемноголетние уровни показателей применяются в качестве контрольных при сопоставлении с ними соответствующих показателей за текущий год. Это позволит увидеть закономерности и тенденции совершения нарушений в отчетном году и запланировать комплекс превентивных мер на следующий год.

Таким образом, предложенная система показателей позволяет:

- проводить углубленный анализ нарушений;
- проводить сравнительный анализ нарушений среди цехов, предприятий и т.д.;
- выявлять закономерности и тенденции динамики нарушений (даже в связи с изменением численности персонала).

Далее был произведен расчет предложенных показателей.

В качестве объекта исследования выбран оперативный персонал основных энергетических профессий одного из структурных подразделений, входящих в состав ОАО ДГК филиала «Хабаровская генерация». Выбор обусловлен тем, что от работы оперативного персонала зависит безопасная и надежная работа оборудования в целом.

Данные собирались за девять лет в период с 1997 по 2005 гг. В качестве основных источников информации использовались данные отдела кадров и индивидуальные учетные карточки нарушителей.

За анализируемый период у персонала зафиксировано 336 нарушений. С целью уменьшения затрат времени и труда на обработку полученной информации, а также для повышения качества и точности результатов использовались возможности СУБД Borland Interbase в связке с интерпретатором языка, написанным на Delphi и Microsoft Office Excel.

В результате исследования выявлено, что наблюдается циклическая динамика нарушений: спад – подъем и т.д. Динамика нарушений оперативным персоналом в период с 1997 по 2005 гг. представлена на рис. 1.

Наибольший показатель случаев нарушений отмечен в 2003 г. (см. рис. 1). Это объясняется, по-видимому, тем, что в 2003 г. были введены новые НТД:

1. Изменения и дополнения к Межотраслевым правилам по охране труда (правилам безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016-2001. РД-153-34.0-03.150-00.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утв. приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229) взамен утративших силу Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (РД 34.20.501-95), утвержденных Минтопэнерго России 23 сентября 1996 г.

На предприятии было организовано изучение вышеуказанных нормативных документов, проведена внеочередная проверка знаний персонала, внесены соответствующие изменения в инструкции и другие документы. Проведена значительная работа по соблюдению правил и выявлению нарушений, в том числе обеспечен систематический контроль за соблюдением НТД.

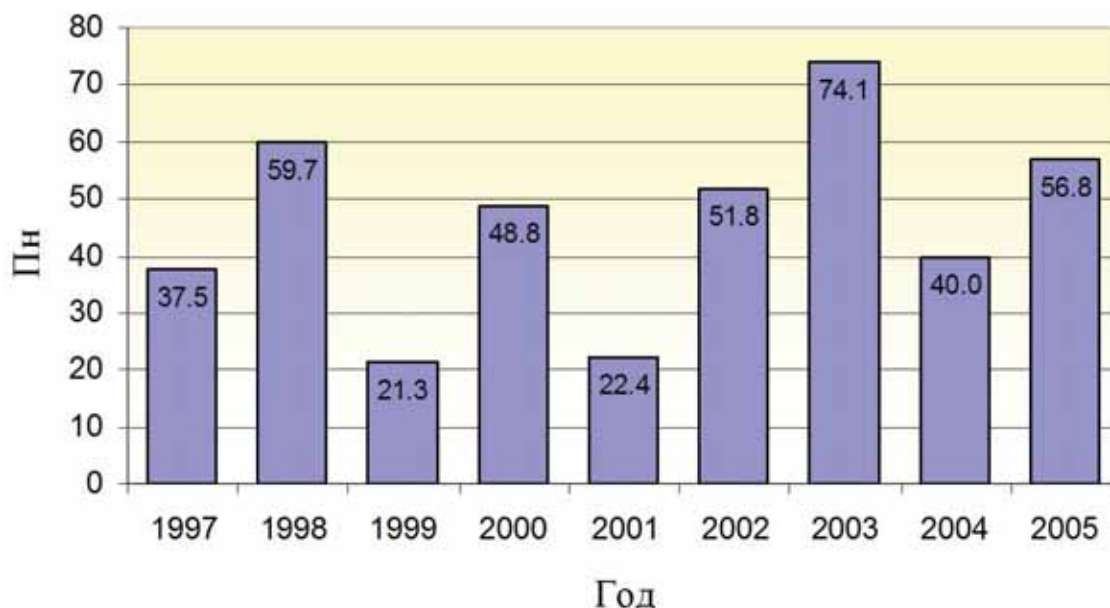


Рис. 1. Динамика нарушений персоналом требований НТД

В ходе анализа все совершенные нарушения были разбиты на четыре типа:

1. Нарушение техники безопасности.
2. Нарушение условий безопасной эксплуатации оборудования.
3. Нарушение Правил работы с персоналом.
4. Нарушение трудовой дисциплины.

С целью определения вклада каждого типа нарушений в общее количество нарушений рассчитан показатель структуры нарушений по формуле (1). В среднем за анализируемый период больше всего зафиксировано нарушений 2-го типа (53 % от общего количества), на втором месте нарушения 1-го типа (22 %), на третьем месте нарушения 4-го типа (19 %).

Доля ни разу не нарушивших лиц определяется по формуле (2). Результаты представлены на рис. 2. В среднем за анализируемый период удельный вес ни разу не нарушавших лиц составляет 68,5 %.

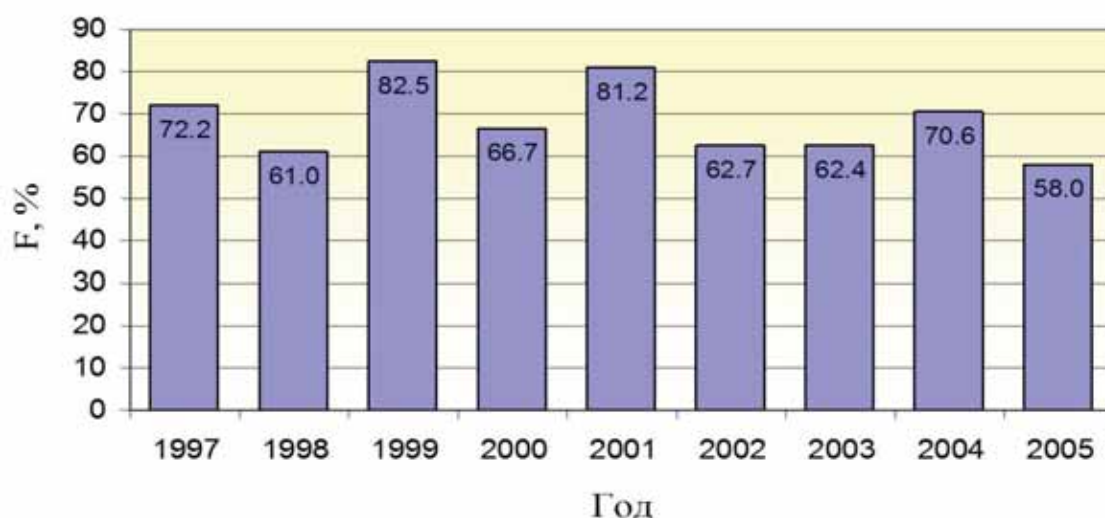


Рис. 2. Доля ни разу не нарушавших лиц

Определение показателя – кратность нарушений показало, что в период с 1997 по 2005 гг. количество случаев нарушений, приходящихся на одного нарушителя, находится в пределах от 1,2 до 2 (см. рис. 3).

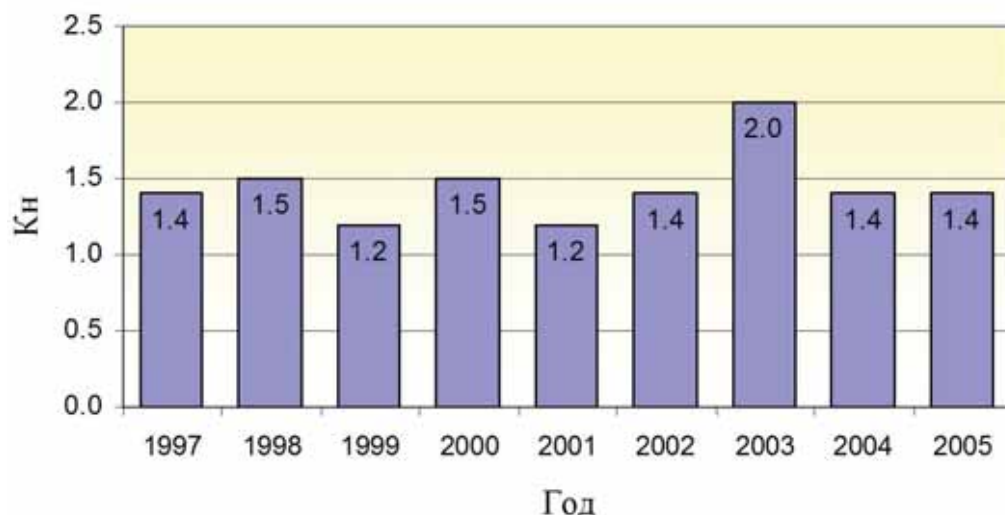


Рис. 3. Кратность нарушений

Рассмотрим погрупповые показатели нарушений (по сумме нарушений) в зависимости от следующих факторов риска: возраста (см. рис. 4), стажа работы на предприятии (см. рис. 5), стажа работы по профессии (см. рис. 6), образования (см. рис. 7), семейного положения (см. рис. 8), нервно-эмоционального напряжения (см. рис. 9), профессии (см. рис. 10-11). Показатели исчислялись на основе среднееголетних уровней нарушений (интенсивные показатели), т.е. за период 9 календарных лет.

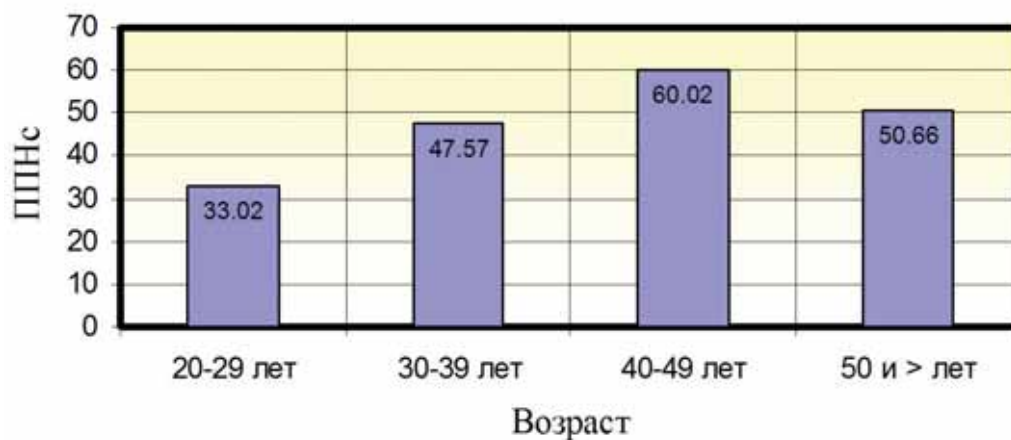


Рис. 4. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от возраста



Рис. 5. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от стажа работы на предприятии



Рис. 6. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от стажа работы по профессии

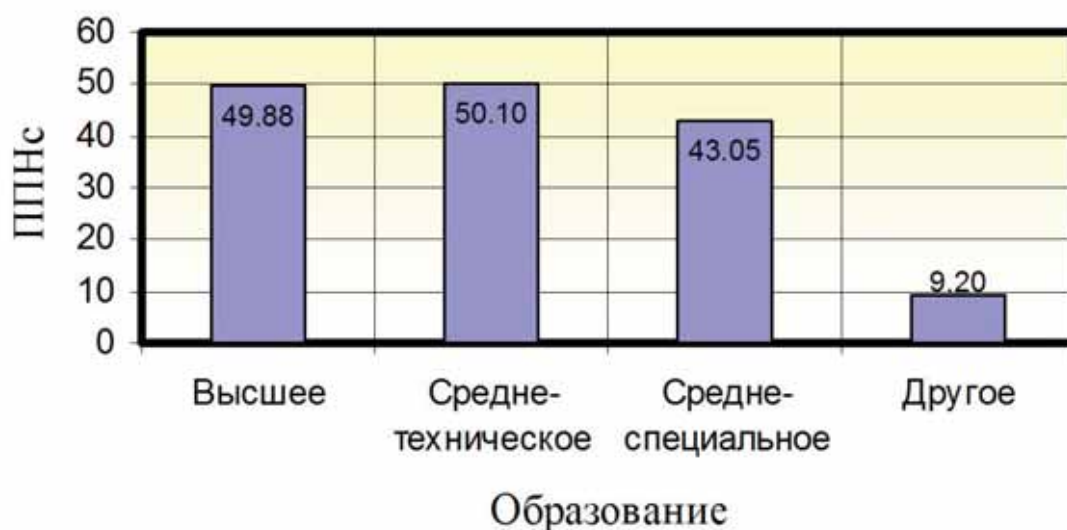


Рис. 7. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от образования

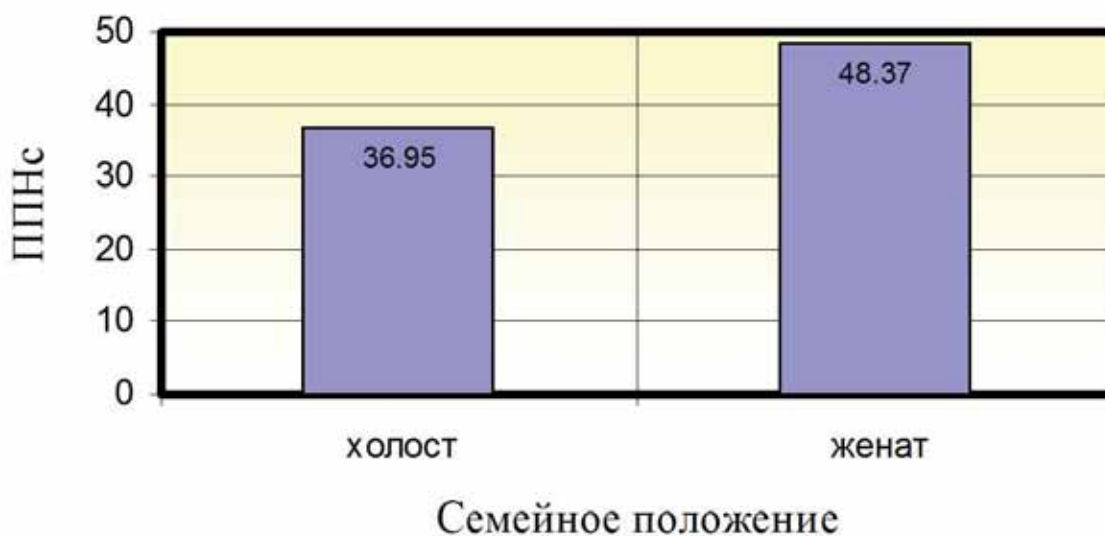


Рис. 8. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от семейного положения



Рис. 9. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от нервно-эмоционального напряжения

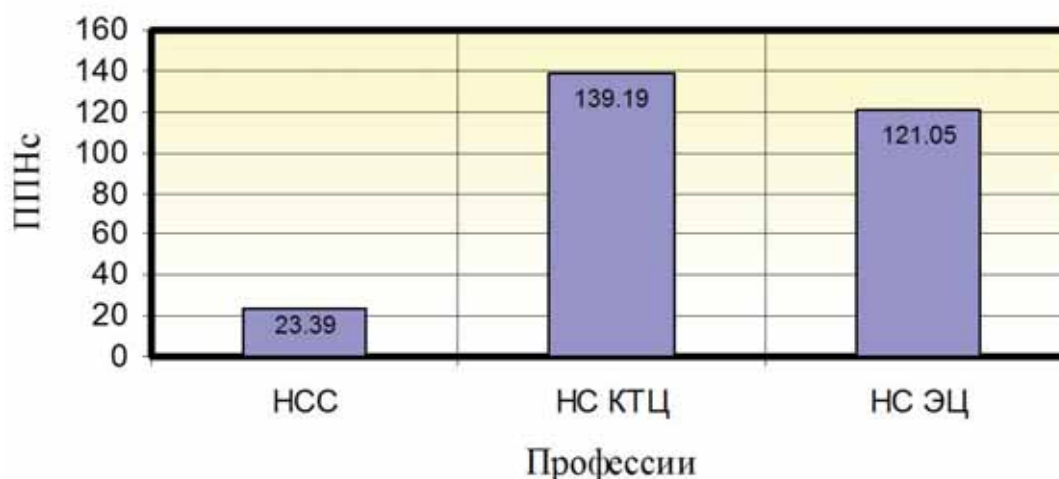


Рис. 10. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от профессий:
НСС – начальник смены станции; НС КТЦ – начальник смены котлотурбинного цеха;
НС ЭЦ – начальник смены электрического цеха

По *возрасту* среди нарушителей преобладают две возрастные группы: от 40 до 49 лет ($ППН_c = 60,02$) и 50 лет и старше ($ППН_c = 50,66$). Это объясняется, очевидно, снижением психических и физиологических функций организма, связанных с процессом старения, влияющих на четкость и точность выполнения работ. Большой пик нарушений в возрасте от 40 до 49 лет объясняется тем, что 40-49 лет – это период осмысления человеком своего социального и профессионального статуса, а также это «переходный» возраст, когда человек адаптируется к новым функциональным изменениям в организме.

По *стажу работы на предприятии и стажу работы по профессии* наибольшее число нарушений совершает опытный персонал со стажем больше 15 лет ($ППН_c = 164,21$ и $ППН_c = 250,0$ соответственно). Причина, по-видимому, кроется в факторе неосторожности, недостаточной осмотрительности, пренебрежительном отношении к правилам безопасности в результате адаптации к опасности.

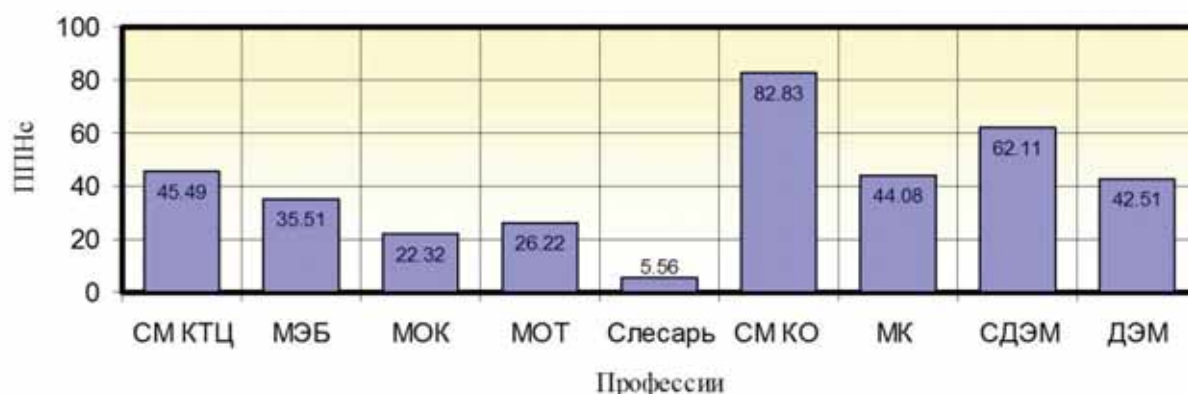


Рис. 11. Погрупповые показатели нарушений в зависимости от профессий:
 СМ КТЦ – старший машинист котлотурбинного цеха; МЭБ – машинист энергоблока;
 МОК – машинист-обходчик по котельному оборудованию; МОТ – машинист-обходчик
 по турбинному оборудованию; СМ КО – старший машинист котельного оборудования;
 МК – машинист котлов; СДЭМ – старший дежурный электромонтер;
 ДЭМ – дежурный электромонтер

По образованию количество случаев нарушений преобладает у двух групп: людей, имеющих средне-техническое ($ППН_c = 50,10$) и высшее ($ППН_c = 49,88$) образование. Возможно, это связано с тем, что образованный человек – это человек с большими «степенями свободы», и он критически относится к правилам, а также считает, что у него могут быть свои правила, более безопасные.

По семейному положению количество случаев нарушений преобладает у женатых людей ($ППН_c = 48,37$). Это объясняется, очевидно, особым психическим состоянием работника, связанным с материальным обеспечением семьи, воспитанием детей и т.д. При этом появляется затруднение переключения внимания.

По нервно-эмоциональному напряжению количество случаев нарушений преобладает у персонала, работа которых связана с высоким уровнем нервно-эмоционального напряжения ($ППН_c = 63,66$).

По профессиям анализ производился отдельно среди руководящих работников и подчиненных. Сравнительный анализ между этими группами нецелесообразен, т.к. у них разные функциональные обязанности, что не позволяет сравнивать их между собой. Основными функциями руководителей являются организация эксплуатации оборудования, обеспечение надежной и безаварийной работы оборудования, организация труда и работ подчиненного персонала, а рабочих – обеспечение надежной и безаварийной работы оборудования.

Среди руководителей наибольший показатель нарушений отмечен у начальников смены котлотурбинного цеха ($ППН_c = 139,19$), среди рабочих – у старших машинистов котельного оборудования ($ППН_c = 82,83$).

Из приведенных выше результатов может сложиться мнение, что знания и опыт неблагоприятно влияют на возникновение нарушений. На самом деле это не так. Просто к таким людям нужен не стандартный подход, а подход с учетом их психологического типа личности. Для более достоверных выводов необходимо провести расширенное психофизиологическое обследование этих групп людей. В данной работе это не представляется возможным.

Отметим, что полученные результаты не являются закономерностью для всех предприятий электроэнергетики, а справедливы только для исследуемого объекта. Для того чтобы выявить среднестатистическую тенденцию, необходимо провести исследования на всех объектах электроэнергетики.

На основании проведенных исследований рекомендуется при разработке превентивных мероприятий учесть следующее:

- пересмотреть мероприятия, направленные на снижение нарушений условий безопасной эксплуатации оборудования в связи с их значительным преобладанием, и продолжать работу в начатом направлении по другим типам нарушений;

- обратить особое внимание на следующие группы персонала: в возрасте от 40 до 49 лет, со стажем работы на предприятии и по профессии больше 15 лет, с высшим образованием, женатых и работа которых связана с высоким уровнем нервно-эмоционального напряжения. Рекомендуется для данных групп персонала:

- провести специальное психофизиологическое обследование;

- подобрать более эффективную систему подготовки (проведение периодической проверки знаний, противоаварийных тренировок, повторных инструктажей, спецподготовки с акцентом на предотвращение совершенных нарушений; организация обучения с учетом частоты нарушений (курсы повышения квалификации); проведение бесед и др.);

- выбрать меры воздействия (поощрение и/или наказание) с учетом психологии людей;

- усилить контроль за персоналом.

Таким образом, в работе предложена система показателей оценки нарушений, анализ которых создает условия для принятия управленческих решений, направленных на снижение этих нарушений, что в конечном итоге приведет к уменьшению числа реализовавшихся опасных ситуаций, повышению безаварийной деятельности персонала, сохранению жизни и здоровья работников и снижению экономического ущерба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загретдинов, И. Ш. О первоочередных мероприятиях по повышению надежности работы оборудования и персонала и снижению аварийности в ЕЭС России / И. Ш. Загретдинов, М. Ю. Львов // Новое в российской электроэнергетике (электронный журнал). – 2001. – № 5. – С. 19-21.
2. Паули, В. К. Справка к заседанию Правления РАО «ЕЭС России» по вопросу «О комплексной программе повышения надежности работы оборудования и персонала и снижения аварийности в ЕЭС России» / В. К. Паули // Энерго-пресс (электронный журнал). – 2001. – № 12. – С. 2-5.
3. Теория статистики: учеб. / под ред. Р. А. Шмоловой. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 576 с.

Олейников А. И.
A. I. Oleinikov

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ШКОЛА ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ
ОСНОВАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»**

**ALL-RUSSIA CONFERENCE "THE SCHOOL OF FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF
MATERIALS PROCESSING SIMULATION"**



Олейников Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой механики и анализа конструкций и процессов Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: a.i.oleinikov@mail.ru, cvmi@knastu.ru.

Mr. Alexander I. Oleinikov – Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Department of Mechanics/analysis of Structures and Processes at Komsomolsk-on-Amur State Technical University; e-mail: a.i.oleinikov@mail.ru, cvmi@knastu.ru.

Аннотация. Представлен аналитический обзор по тематике конференции. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-01-06832 моб_г).

Summary. The paper presents an analytical review of publications concerning the title subject of the conference. The project has been financially supported by the Russian Foundation for Fundamental Research (# 10-01-06832 mog_g).

Ключевые слова: механика, управление и оптимизация, параллельные алгоритмы и системы моделирования обработки материалов.

Key words: mechanics, control and optimization, parallel algorithms and simulation systems for materials processing.

УДК 539.3

Школа проводилась 26-28 октября 2010 г., была приурочена к пятидесятилетию Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, поддержана грантом РФФИ, ОАО «КНААПО», Ученым советом по математическим и физико-техническим наукам и Президиумом ДВО РАН и явилась значимым научным мероприятием, проводимым на Дальнем Востоке России по прикладной механике и информатике. Председатель оргкомитета – Олейников А.И.

Из приветственного слова председателя программного комитета члена-корреспондента РАН А.А. Буренина: «Ваш университет является и должен быть в числе лидеров технической и технологической политики региона, признаком этого и есть проведение настоящей Школы. Исследования по вопросам моделирования, которое является основой инженерной практики, в нашей стране требуют ускоренного развития».

Общее количество участников – 123 человека. Среди авторов докладов три члена-корреспондента РАН, 15 докторов наук и 23 кандидата наук, 65 молодых специалистов. Представлены 27 пленарных и секционных докладов и 78 стендовых докладов из Благовещенска (АмГУ), Владивостока (ДВГТУ, ИАПУ ДВО РАН, ИПМ ДВО РАН, ИХ ДВО РАН), Екатеринбурга (УрГПС, НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, РГППУ, УрГЭУ), Комсомольска-на-Амуре (АмГПУ, ИМиМ ДВО РАН, КНААПО им. Ю.А. Гагарина, КНАГТУ), Новосибирска (ИГД СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИВМиМГ

Олейников А. И.

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ШКОЛА ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ОСНОВАМ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»

СО РАН), Петропавловска-Камчатского (ИВС ДВО РАН, КамчГТУ, НИГТЦ ДВО РАН), Томска (Томский НЦ), Хабаровска (ВЦ ДВО РАН, ДВГУПС, ИМ ДВО РАН, ТОГУ).

Научная программа конференции включала в себя фундаментальные и прикладные вопросы механики, математики и информатики, лежащие в основе моделирования обработки современных материалов, композитов и сплавов давлением, резанием, воздействием физических полей и химически активных сред. В рамках конференции работали две секции: механика обработки материалов и параллельные алгоритмы и системы моделирования.

В рамках первой секции рассматривалось (Намм Р.В., Вихтенко Э.М.) нелинейное контактное взаимодействие, при котором сила трения и область контакта между упругим и жестким телом зависит от искомого решения, для двумерных задач обоснован метод решения, сводящийся к поиску седловых точек некоторого модифицированного авторами функционала Лагранжа. Контактные упругопластические задачи в условиях больших смещений/поворотов применялись при моделировании гибки гладкой заготовки дискретным штампом (Коробейников С.Н.). Для корректной формулировки уравнений механики сплошной среды при больших деформациях предложено семейство лагранжевых корротационных производных тензоров второго ранга (Коробейников С.Н., Олейников А.А.), которые форминвариантны и непрерывны независимо от кратности собственных значений симметричных тензоров. Представлены (Шитиков А.В., Шитиков С.А.) подход и результаты построения уравнений упругопластического течения при активном нагружении в условиях конечных деформаций, в котором вместо принципа Мизеса используется вариационный принцип максимума диссипации механической энергии, что освобождает от необходимости определения скорости пластической деформации. На основе модели (Буренин А.А., Быковцев Г.И., Ковтанюк Л.В., Шитиков А.В.) больших упругопластических деформаций, учитывающей реологические и температурные эффекты, выполнено моделирование влияния вязкости и установившейся ползучести при допредельном нагружении и разгрузке данной среды с цилиндрической полостью (Мурашкин Е.В., Бажин А.А., Камовский Д.А.); решена вискозиметрическая задача о нагружении, разгрузке и обратном нагружении упруговязкопластического трехслойного материала между двумя коаксиальными цилиндрами при ускоренном вращении внешнего, его остановки и обратном вращении – определены очередность возникновения и эволюция областей вязкопластического течения и упругого деформирования, а также распределения остаточных напряжений. Изотермическое течение жидкого металла на мениске кристаллизатора моделировалось в экспериментах (Стулов В.В., Горнаков А.И.) по определению областей и времени перемешивания погружной струи; учет конвективного тепломассопереноса и заданных значений теплового потока через стенки кристаллизатора произведен (Одинокое В.И.) при расчете симметричного стационарного течения линейно-вязкой жидкости; зависимость интенсивностей напряжений и скоростей может быть уточнена (Севастьянов Г.М.) за счет добавления слагаемых степени деформации и использования генетического алгоритма определения одиннадцати констант. Экспериментально установлено (Стулов В.В., Севастьянов А.М.; Щербakov С.В., Чистяков И.В.; Оглоблин Г.В., Дербеткин А.А.), что охлаждение тепловой трубы способствует уменьшению размера зерен алюминиевых полых отливок, разлива стали через погружные стаканы специальной конструкции улучшает качество слябов; усовершенствованное охлаждение только наклонных стенок стального кристаллизатора литейного модуля способствует стабилизации толщины деформируемой заготовки. Представлены (Аннин Б.Д., Баев Л.В., Волчков Ю.М.; Сарайкин В.А.) модели упругого и упругопластического деформирования слоистого материала, учитывающие сдвиги и обжатие слоев. Для учета структуры дефектов в упругом материале предлагается (Гузев М.А.) использовать ска-



лярную кривизну; при этом перемещения приобретают дополнительное слагаемое, пропорциональное градиенту кривизны, а напряжения – самоуравновешенное поле, обусловленное системой дефектов. Для поля линий скольжения (1967 г.) представлена методика оценки возможных деформаций в пластической зоне, выходящей из-под контакта качения жесткого цилиндра по жесткоидеальнопластическому полупространству (Анисимов А.Н., Лошманов А.Ю.). Предложена (Иванчин А.Г., Викулин А.В.) модель теплового взрыва при пластической деформации, которая предполагается термически активированным процессом. Области пластического течения и разгрузки могут возникать в условиях свободного нестационарного нагрева тела (Дац Е.П., Мурашкин Е.В.). Для определения технологических режимов работы установок вертикального и горизонтального литья и деформации могут использоваться результаты моделирования напряженного состояния поверхности бойков, сжимающих металл; первая из этих установок оснащена средствами контроля и управления тепловыми режимами кристаллизатора, для второй даны описание движения составных частей кристаллизатора и его связь с формированием заготовки и скоростью её выхода (Одинокое В.И., Черномас В.В., Ловизин Н.С., Скляр С.Ю., Соснин А.А.). Представленный (Одинокое В.И., Прокудин А.Н.) алгоритм определения состояния несжимаемой осесимметричной системы (упругие тела – вязкая жидкость) применялся для описания принятой схемы разрушения тела под действием переменного давления по последовательности решений соответствующих статических задач. Экспериментальные данные (Горев Б.В., Масанов И.Ж.) свидетельствуют о необходимости учета при ползучести авиационного сплава анизотропии и разнсопротивляемости, зависящих от толщины плиты. Дается сравнение экспериментальной и расчетной релаксаций изгибающего момента по интегральным характеристикам ползучести на изгиб балок и на кручение пластин, которые предложено использовать в качестве паспортных для расчета процесса формообразования. Представлены (Олейников А.И.) новые модели и задачи механики пластического формоизменения при изгибе с учетом ползучести трехмерных разнсопротивляющихся трансверсально-изотропных тел, для которых граничные условия и исходные размеры определяются на основе заданной остаточной конфигурации. Полученные модели и алгоритмы положены в основу разработанного расчетного программного комплекса, который позволяет определить технологичность конструкции детали, геометрические параметры штамповой оснастки и заготовки, остаточное напряженно-деформированное состояние, рациональные режимы нагружения и деформирования, минимизирующие поврежденность и расход ресурса прочности материала. Рассмотрена и апробирована (Бормотин К.С.) вариационная формулировка МКЭ-расчета рабочих поверхностей штампов и внешних нагрузок ползучести по остаточным кривизнам детали и при условии минимизации поврежденности материала формуемой изгибом детали. Вычислена (Катанаев Л.В., Марьин С.Б., Олейников А.И.) штамповая оснастка для горячей объемной штамповки окантовки иллюминатора из кольцевой заготовки, вырезанной из плиты. Применение (Кремза И.В., Станкевич А.В.; Кривенок А.А., Варламова А.А.; Крупский Р.Ф.) дюралюминиевых пуансонов, покрытых двумя слоями полимерной пленки со смазкой, при изготовлении обшивок двойной кривизны обтяжкой свежезакаленной заготовки алюминиевого сплава с последующим фрезерованием снижает трение и неравномерность распределения контактных сил по пуансону, а следовательно, значительно снижает растягивающее усилие прессы и повышает качество и размерную точность детали; также может быть снижение изгибающего усилия при гибке с растяжением шпангоутов из-за повышенной температуры; по решениям ряда квазистатических задач определялись зоны возможного разрушения резинового клапанного уплотнения пневмогидроагрегата и влияния на них размеров седла и зоны приклейки уплотнения. Оснастку для обтяжки целе-

сообразно изготавливать методом литья из несортированных кусковых и литейных отходов алюминиевых сплавов (Захарова Е.В., Якимов В.И.). Для исключения концентраторов напряжений, образующихся при механическом контактом раскрое под размерное химическое травление защитного покрытия листового сплава, может быть использован (Физулаков Р.А., Бреев С.В.; Муравьев В.И., Логвинов О.П) лазерный раскрой. Поверхность газолазерной резки титанового сплава в азоте характеризуется измененным слоем и гратом, двухзонной шероховатостью и повышенной микротвердостью, примесями азота, водорода и кислорода, параметры которых зависят от скорости резания, толщины листа и легирования. Деформация стали С20 у торца коррозионного реза может быть значительно меньше по сравнению с термическим или механическим резом (Макарова Н.В., Погодаев В.П., Погодаев А.В.). Для различных плавок стали переходного класса определены (Грищенко Ю.А., Правенькая В.В.) режимы упрочняющей термической обработки поковок, свойства которых удовлетворяют конструкторским требованиям для высоконагруженных деталей. Влияние технологического деформирования на стойкость к коррозии и коррозионному растрескиванию деталей из листовых алюминиевых сплавов можно выявить (Быватова В.П., Добржанский В.Г., Мутьлина И.Н., Рева В.П., Патин А.Н.) по степени снижения разрушающего напряжения при растяжении со скоростью, близкой к скорости развития коррозионных повреждений. Определены (Мулин Ю.И., Власенко В.Д.) нелинейные зависимости от величины приведенной энергии среднего размера блоков, микронапряжений и микротвердости структуры покрытия электроискрового легирования шеелитовым наноконцентратом, коэффициент трения и износ которого на стали 45 значительно меньше, чем покрытия ВК6. Оценка ресурса и композиции бетона по отношению к истиранию матрицы и зерен крупного заполнителя может быть оценена (Полоник М.В., Макарова Н.В.) расчетом формы поверхности износа в зависимости от отношений радиуса зерен к шагу между ними и степеней износа зерна и матрицы. Послойная, согласно схемы выкладки, модель детали из полимерных композиционных материалов позволяет провести анализ всех процессов изготовления и может являться основой для автоматизации композиционного производства (Бажеряну В.В., Басынина Е.А.). Для упругой конструкции с трещиной, пересекающей тонкое жесткое включение, которое может отслаиваться от матрицы, установлено (Хлуднев А.М.) существование внешней нагрузки наиболее безопасной с точки зрения критерия разрушения Гриффитса. Для тела с объемным включением (жестким, упругим или пустым) и трещиной, выходящей на границу этого включения, может быть найден такой параметр податливости включения, что конструкция также будет наиболее безопасной; при этом взаимного проникания берегов не допускается. По проблеме нестационарного кинематического граничного воздействия на материал получены (Рагозина В.Е., Иванова Ю.Е.) зависимости определения состояния и координаты возникновения сдвиговой ударной волны; вычислены (Дудко О.В., Лаптева А.А.) добавочное давление, скорости движения среды и отраженных волн в зоне, образовавшейся после столкновения двух ударных волн сдвига; устанавливается (Потянихин Д.А.) на основе условий эволюционности и Буренина-Чернышова однозначность волновой картины из ударных и простых волн; дается (Герасименко Е.А., Завертан А.В.) численно-аналитическая схема вычисления перемещений за выделенными прифронтовой асимптотикой ударными волнами, их скорость и интенсивность в зависимости от времени.

В рамках второй секции дано (Хусаинов А.А.) сравнение и сформулированы актуальные открытые проблемы построения математических моделей параллельных вычислительных систем; описаны пять стилей параллельного программирования: интегративный параллелизм, рекурсивный параллелизм, конвейеры, клиент-сервер, взаимодействующие каналы.



Для симметричной мультипроцессорной системы рассмотрены методы разработки и исследования многопоточных приложений, представлены многочисленные модели параллельных вычислительных систем и результаты их изучения методами алгебраической топологии. Представлен (Володин Р.Н.) новый метод двухпоточного распараллеливания алгоритма Дейкстры – построения выпуклой оболочки данного множества точек в пространстве. Предложен (Долгополик О.Д.) способ построения 3D моделей деформированных объектов, заданных набором точек, по сравнительному анализу с исходным эталонным объектом, заданным сплайновыми кривыми и поверхностями. При исследовании инвариантов сетей Петри найдены (Гринблат А.Д.) необходимые и достаточные условия того, что произведению бинарных отношений будет соответствовать произведение двух частично-упорядоченных множеств. Представлен (Ким П.А.) алгоритм деформирования при масштабировании ступенчатой модели рельефа заданного объема, минимизирующих площадь его поверхности. Рассмотрена (Гассан С.В.) параллельная реализация способа вычисления параметров многомерных квадратурных формул Коробова, основанного на алгоритме Быковского В.А. – вычисления локальных минимумов целочисленных решёток. На основании установленных свойств перемежаемости корней характеристического уравнения предложен (Дмитриев А.А.) параллельный алгоритм вычисления собственных чисел трехдиагональной матрицы.

В решении конференции отмечается эффективность Школы, высокий уровень организации и обеспечения функционирования всех участников Школы. Участникам рекомендовано способствовать расширению сведений и материалов конференции с целью реализации проведения Школы на систематической основе.

Таким образом, на Школе представлена широкая проблематика исследований в области механики, математики и информатики по обработке современных материалов пластическим деформированием, вязким течением, воздействием физических полей и химически активных сред, контактным взаимодействием, разрушением деформируемых тел, а также по развитию методов математического моделирования, оценивания и управления механическими системами и их реализацией параллельными алгоритмами и программными системами. Наиболее актуальными являются проблемы производства и обработки полимерных композиционных материалов с большими упругопластическими деформациями, формовки крупногабаритных деталей из высокопрочных легких листовых сплавов со структурной неустойчивостью, оптимального управления воздействиями обработки тел с жесткими включениями и трещинами различной конфигурации. Существенное влияние на решение этих задач оказывают соответствующие участники Школы, исследования которых отвечают мировому уровню. Однако обеспеченность данных научных направлений научно-техническими кадрами и научным оборудованием не отвечает сформулированным постановкам и требует значительного улучшения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный симпозиум «Образование, наука и производство: проблемы, достижения и перспективы»: материалы Всероссийской конф. «Школа по фундаментальным основам моделирования обработки материалов» и науч.-техн. конф. «Математическое, вычислительное и информационное обеспечение технологических процессов и систем» (Комсомольск-на-Амуре, 26-28 октября 2010 г.): в 5 т. Т. 4 / редкол.: А. М. Шпилев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 284 с.

Евстигнеев А. И., Мокрицкий Б. Я.
A.I.Evstigneev, B.J.Mokritskij

ОБЗОР НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ КНАГТУ ЗА 2010 ГОД

OVERVIEW OF SCIENTIFIC CONFERENCES KNAGTU FOR 2010



Евстигнеев Алексей Иванович – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, проректор по научной работе Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Alexey I. Yevstigneev – Doctor of Engineering, Professor, Provost for Research at Komsomolsk-on-Amur Technical University, bearer of the title "Honoured Worker of Science and Engineering of Russia".



Мокрицкий Борис Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», старший научный сотрудник Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Boris Ya. Mokritskij – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology, Senior Research Fellow at Komsomolsk-on-Amur Technical University, winner of the All-Russia Competition "Best Engineer 2004" in the category "Mechanical Engineering", corresponding member of the Russian Academy of Quality Problems, the Honoured Inventor of the Russian Federation, holder of the certificate "Professional Engineer of Russia", winner of medals at the Soviet Exhibition of Economic Achievements (Rus.: VDNH).

Материал подготовлен по поручению редакционной коллегии журнала.

2010 год оказался необычайно «урожайным» на международные конференции, проведённые на базе КНАГТУ. Открыла календарный год профессор Степанова И.П. ежегодной конференцией «Дальневосточная весна». Затем в рамках международного симпозиума «Образование, наука и производство: проблемы, достижения и перспективы» было проведено четыре международных научно-технических конференций (1. «Современное материаловедение и нанотехнологии», председатель профессор Шпилёв А.М.; 2. «Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств», председатель профессор Евстигнеев А.И.; 3. «Математическое, вычислительное и информационное обеспечение технологических процессов и систем» (совмещена со школой молодых учёных), сопредседатели профессор Олейников А.И. и профессор Одинокоев В.И.; 4. «Электротехнические комплексы и системы», председатель профессор Соловьёв В.А.) и одна научно-методическая конференция «Проблемы, технологии и пути удовлетворения требований экономики и социально-культурной сферы региона к структуре, содержанию и качеству подготовки специалистов», председатель профессор Куделько А.Р. Закрыл календарный год профессор Тарануха Н.А. конференцией «Развитие инновационной инфраструктуры ГОУВПО «КНАГТУ» и Дальневосточного региона России».

Четыре научно-технические конференции были поддержаны и профинансированы Российским фондом фундаментальных исследований.

Определённая поддержка, в том числе и финансовая, конференциям была оказана Правительством края, администрацией города Комсомольска-на-Амуре, Дальневосточным отделением Союза машиностроителей, авиационным объединением им. Ю.А. Гагарина (г. Комсомольск-на-Амуре).



По каждой из конференций выпущены сборники материалов конференции.

Далее кратко дана информация по каждой из конференций.

1. Результаты проведения международной конференции «Дальневосточная весна – 2010».

Проведение (20-21 мая) юбилейной десятой по счёту конференции «Дальневосточная весна» приурочено к 65-летию победы во Второй мировой войне.

Научная ценность и практическая значимость конференции отражены через её востребованность (см. табл. 1).

Таблица 1

Показатель	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Число заявленных докладов	120	150	194	62	152
Доктора наук	15	22	26	16	24
Кандидаты наук	40	80	104	34	62
Число заслушанных докладов	48	46	51	22	60
Число участников	370	250	280	110	235
Число городов	9	33	36	9	7
Зарубежные участники	КНР	КНР	КНР	Япония, КНР	Япония, КНР

В адрес конференции поступило 152 заявленных доклада из 18 городов и трех стран. Среди 235 участников 60 % составляет молодежь и 40 % – маститые ученые: 24 доктора наук (10 %), 62 кандидата наук (27 %), 31 старший научный сотрудник и инженер (13 %), 63 младших научных сотрудника, аспиранта (27 %), 55 студентов (23 %). В рамках конференции был проведен конкурс на лучшую научную работу школьников, студентов, аспирантов, инженеров заводов. На конкурс были представлены 40 работ.

Конференция создала условия и возможности обмена информацией, идеями, мнениями, проблемами и способами их решения в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности, выявила наиболее актуальные проблемы, реализовала инновационные концепции просвещения, расширила международное сотрудничество в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности со странами Азиатско-тихоокеанского региона.

2. Результаты проведения симпозиума и его конференций.

Симпозиум был приурочен к 55-летию КнАГТУ. Информационными партнёрами симпозиума являлись:

- а) Союз машиностроителей России (Хабаровское региональное отделение);
- б) научно-технические журналы: «Металлообработка», «Металлургия машиностроения», «Литейное производство», «Библиотечка литейщика», «Заготовительные производства в машиностроении», «Сборка в машиностроении, приборостроении».

Симпозиум начал свою работу 27 сентября и завершился 30 октября 2010 года. Со-председателями симпозиума являлись академик РАН Сергиенко В.И., доктор технических наук Шпорт В.И., доктор технических наук Шпилёв А.М. Симпозиум поддержан ДВО РАН, РФФИ, Хабаровским отделением союза машиностроителей РФ, Правительством Хабаровского края, администрацией г. Комсомольска-на-Амуре, ОАО «КНАПО им Ю.А. Гагарина» и другими организациями.

В числе пленарных докладов симпозиума значатся доклады: губернатора Хабаровского края Шпорта В.И. «Инженер в современном обществе», министра образования Хабаровского края Базилевского А.А. «Формирование инновационных инфраструктур в вузах Хабаровского края», заместителя Председателя Правительства Хабаровского края – министра экономического развития и внешних связей Хабаровского края доктора экономических наук Калашникова В.Д. «Приоритеты инновационной политики Хабаровского края», ректора ТОГУ, профессора, доктора технических наук Иванченко С.Н. и член-корреспондента Рос-

сийской инженерной академии, доктора технических наук, профессора Лашко В.А. «Российская инженерная академия – основа технологической безопасности России», директора Института материаловедения ДВО РАН, доктора физико-математических наук, профессора Завадинского В.Г. «Применение атомно-масштабного моделирования для описания свойств наносистем», ректора ГОУВПО «Станкин», доктора технических наук, профессора Григорьева С.Н. «Инновационный подход к организации системы подготовки высококвалифицированных кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса на примере ГОУВПО «Станкин», доктора технических наук, профессора Верхотурова А.Д. «О новом определении науки. О некоторых особенностях развития науки на данном этапе существования человечества», проректора ГОУВПО «Станкин», доктора технических наук, профессора Подураева Ю.В. «Методы проектирования мехатронных технологических модулей и систем».

Симпозиум начал свою работу с открытия двух международных научно-технических конференций: «Современное материаловедение и нанотехнологии» и «Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств». В работе этих двух конференций приняло участие 427 человек. Из них: 56 иностранцев (Германия, Украина, Сербия, Молдова, Узбекистан, Китай, Япония, Корея), 22 студента, 46 докторантов и аспирантов, 134 кандидата технических наук, 56 докторов наук, 7 член-корреспондентов РАН, 1 академик РАН, 85 инженеров промышленных предприятий. По территории России участие отражено следующим образом: 84 человека приняло участие из Комсомольска-на-Амуре, 77 – из Хабаровска, 21 – из Владивостока, 9 – из Благовещенска, 18 – из Москвы, 15 – из Курска, по 10 человек – из Новокузнецка, Омска, Томска, 3 – из Санкт-Петербурга, 34 – из Якутска, а также из других городов.

Принятые по результатам симпозиума решения позволяют аккумулировать достигнутые результаты и ориентируют на решение первоочередных и долгосрочных задач.

2.1. Результаты международной научно-технической конференции «Современное материаловедение и нанотехнологии».

Соорганизатором конференции являлся Институт материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН.

За период работы конференции было заслушано более 80 секционных и стендовых докладов, проведено 6 круглых столов.

По результатам конференции были сформулированы следующие приоритетные направления в области материаловедения и нанотехнологий:

- производство конструкционной керамики из местного минерального сырья;
- разработка высокоэффективных технологий обработки материалов концентрированными источниками энергии;
- разработка новых композиционных материалов, защитных и функциональных покрытий;
- создание наноструктурированных материалов для машиностроения методами интенсивной пластической деформации, порошковой металлургии и воздействием высококонцентрированных потоков энергии.

Были отмечены ряд докладов, в том числе докторантов, аспирантов и студентов.

2.2. Результаты международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств».

В составе конференции проведены секции «Обработка материалов резанием», «Электрофизическая обработка материалов», «Заготовительное производство в машиностроении». Работа секций проходила в режиме секционных и стендовых докладов.

В частности, на конференции были приняты следующие решения:

а) Практиковать на последующих конференциях:

- организацию секции «Молодёжная школа» с приглашением известных учёных для чтения лекций;



- использование английского языка в качестве рабочего языка конференции в присутствии иностранных гостей и участников.

б) Отметить важность, актуальность, высокое качество и уровень ряда докладов.

2.3. Результаты международной научно-технической конференции «Математическое, вычислительное и информационное обеспечение технологических процессов и систем» опубликованы отдельно.

2.4. Результаты международной научно-технической конференции «Электротехнические комплексы и системы».

Конференция состоялась 21-22 октября 2010 года, посвящена обсуждению теоретических и практических результатов в области энергосберегающих технологий, автоматизированного электропривода, электромеханики и электрооборудования.

В работе конференции приняло участие 163 специалиста и студенты. За рамками конференции для молодых ученых, аспирантов, студентов выступили с докладами ведущие ученые и специалисты в области энергосберегающих технологий, электромеханики и автоматизированного электропривода.

Оргкомитет своим решением выделил лучшие доклады и рекомендовал их к опубликованию в журнале «Учёные записки КНАГТУ». Отмечено 27 докладов по работам, претендующим на докторские и кандидатские диссертации.

2.5. Результаты международной научно-методической конференции «Проблемы, технологии и пути удовлетворения требований экономики и социально-культурной сферы региона к структуре, содержанию и качеству подготовки специалистов».

Статус этой конференции особый. Её педагогическая направленность очевидна. Но впервые так явно поставлена проблема о конкретной сфере приложения знаний преподавателя с позиций удовлетворения предъявляемым требованиям. Эта черта всегда отличала жизненную позицию Куделько А.Р.

На пленарных заседаниях и заседаниях трёх секций представлено 54 доклада и сообщения, в том числе заслушаны доклады представителей КНР, Южной Кореи, Чешской республики, Латвии, Канады. Участниками конференции отмечен ряд инновационных направлений деятельности, связанных с комплексным удовлетворением потребностей работодателей в структуре и содержании подготовки выпускников вузов, с развитием творческих возможностей, использованием эффективных методов организации и реализации конкретных учебных занятий и образовательного процесса в целом.

3. Результаты конференции «Развитие инновационной инфраструктуры ГОУВПО «КНАГТУ» и Дальневосточного региона России».

Конференция носила тематический и направленный характер. К участию в конференции приглашались только руководители и представители промышленных предприятий, научных и учебных учреждений, инновационных компаний, технопарков, предпринимательских структур. Цели конференции:

- обсуждение хода и перспектив выполнения Постановления Правительства РФ № 219 от 09.04.2010 г. «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования»;

- обсуждение хода и перспектив выполнения программы «Развитие в ГОУВПО «КНАГТУ» инновационной инфраструктуры для повышения эффективности малого предпринимательства, внедрения научных разработок и подготовки кадров в регионе Дальнего Востока России».

Поставленные цели достигнуты. В результате пленарной дискуссии и подведения итогов состоялось вручение призов и наград молодым участникам инновационной деятельности ГОУВПО «КНАГТУ».

Докучаев И. И.

ВИКТОР ПОРФИРЬЕВИЧ БАЖЕНОВ. ПАМЯТИ УЧЕНОГО И РЕДАКТОРА

И. И. Докучаев

I.I. Dokuchaev

**ВИКТОР ПОРФИРЬЕВИЧ БАЖЕНОВ.
ПАМЯТИ УЧЕНОГО И РЕДАКТОРА**

**VICTOR Porfirevich BAZHENOV.
MEMORIAL SCHOLAR AND EDITOR**

Докучаев Илья Игоревич – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой философии и социологии, проректор по связям с общественностью Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. E-mail: ilya_dokuchaev@mail.ru.

Dokuchaev Ilya I. - Doctor of Philosophy, Professor, Head of the Department of Philosophy and Sociology, Vice President for Public Relations of Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: ilya_dokuchaev@mail.ru.

Редакционная коллегия нашего журнала понесла невосполнимую утрату. Скончался один из постоянных авторов журнала, руководитель отдела Строительства и архитектуры Виктор Порфирьевич Баженов. Он был старейшим работником нашего университета, одним из первых докторов наук, создавших его научный потенциал. Идеи Виктора Порфирьевича об экономической экспертизе строительных объектов, роли вахтового метода в освоении Дальнего Востока России, останутся значимыми ориентирами работы не только для непосредственных его учеников, но и для всех тех, кто изучает соответствующие проблемы. В.П. Баженов был профессором, которого любили ученики и уважали коллеги, он был прекрасным организатором, заведовал кафедрой, активно участвовал в работе журнала, несмотря на свой преклонный возраст. Виктор Порфирьевич был ветераном Великой Отечественной Войны, награжденным орденами и медалями за подвиги, проявленные в ее годы. Редакционная коллегия журнала и администрация университета выражает глубокие соболезнования всем любившим и знавшим Виктора Порфирьевича, его родственникам и коллегам.

Сегодня от нас уходят выдающиеся ученые, представители научных школ, благодаря которым наша промышленность и культура развивались и создавали достижения мирового уровня. Виктор Порфирьевич с полным правом относится к одной из таких школ как носитель ее традиций. Он успел сделать очень многое; и надежда на то, что традиции, переданные им, не погибнут, служит утешением в скорби о его утрате. В этом году В.П. Баженову исполнилось бы восемьдесят шесть лет. Шесть лет назад он был гостем рубрики *Persona Grata* газеты «Университетская жизнь в КнАГТУ». В память о Викторе Порфирьевиче мы публикуем это интервью, данное мне, на страницах нашего журнала. Живой голос человека и ученого – лучшее воспоминание о нем.

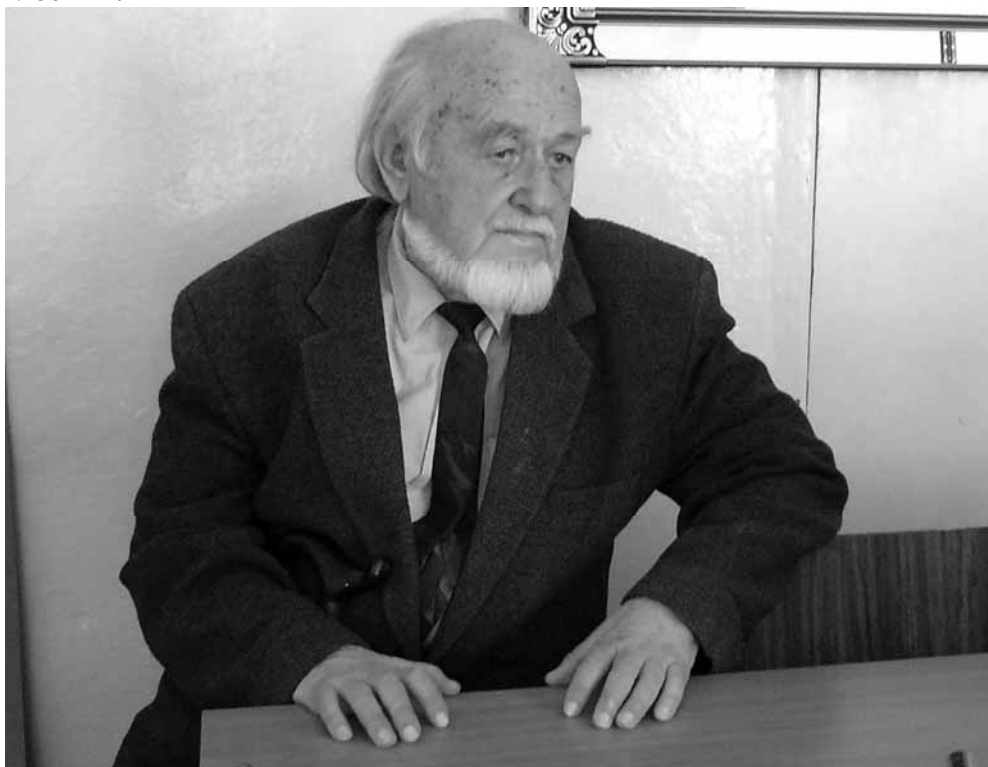
- Виктор Порфирьевич, расскажите немного о себе.

- Я родился в ноябре 1925. В этом году мне будет 80 лет. В августе 1943 был мобилизован. Через месяц - уже на фронте. Первое ранение получил, потом в медсанбате. Потом снова фронт. Но мне не повезло, наверное. Или повезло? Я попал на фронт, а потом всех родившихся в 1925 году по приказу Сталина откомандировали в тыл, на восстановление шахт. Вот все ругают Сталина за то, что он был кровожадным, а он заботился о том, чтобы молодые кадры остались живы и способствовали процветанию хозяйства. Потом на ногу у меня открылась рана, и меня оставили в выздоравливающем батальоне. Я там чуть с голоду не умер: воровство такое, что никакой еды не было. Я попросился снова на фронт. И попал в войска связи. Войну там заканчивал.

- Освобождали какие-нибудь территории?

- В Никополе были, потом повернули и пошли в Румынию, затем в Болгарию. До Германии я не дошёл. На Кицканокпанском плацдарме получил ранение и медаль за отвагу. Это было последнее моё боевое крещение.

Настоящая война совсем не похожа на ту, о которой снимают фильмы и пишут учебники истории. Вот, как вы, например, представляете себе немцев? Это высокотехническая, очень грамотная армия. У них было превосходное вооружение. Вот у нашей винтовки, когда ползёшь, забивается грязью затвор. И чтобы зарядить её, нужно брать лопатку и выбивать грязь из затвора. А у немцев всё у винтовки закрыто было. Берёшь даже пролежавшую под дождем целый месяц, открываешь, - и она стреляет. Или даже котелки. У нас они были круглые. У немцев – квадратные: устойчивые и поэтому очень удобные. А как немцы обустраивались на фронте, как заботились о своих солдатах. В фильмах показывают какую-то декоративную войну. Вот все поднимаются из окопов и бегут. Да это же глупость! Только высунься из окопа – и ты уже мёртвый. Нужно было вылезти незаметно, пробежать пять шагов, опять упасть, потом отползти, опять пять шагов пробежать. Такими перебежками нужно было добежать до рубежа атаки. А кругом огнёмётный огонь, пулемётный огонь... Хотелось в землю втиснуться и стать плоским.



- А страшно или привыкаешь?

- На войне просто тупеешь. Вы знаете, например, что такое спать в строю? Идёшь в строю и засыпаешь. Остановишься – натолкнёшься на идущего впереди, проснёшься. Опять идешь, опять спишь. Война - это непосильный труд! Кошмар. А я служил в войсках связи - это полный кошмар. Когда наступают, пехотинец просто идёт. А от нас требуют ещё и связь развернуть. Мало того, что мы прошли километры, пронесли катушку, а ещё и связь в батальоне дать надо. А проехал танк – всё порвал и заново восстанавливать надо. Это – тяжелейшие перегрузки. Тем более, что солдатам, и мне в том числе, по 18 лет было. С другой стороны, я, когда не работал, ничего не делал. И от труда и от такого отдыха просто тупеешь. Становишься, как автомат. Всё человеческое теряется.

- А как сложилась Ваша мирная трудовая жизнь?

- Я долго работал в Харькове, в Институте инженерно-городского хозяйства, на строительной кафедре. Там же попал в аспирантуру и защитил кандидатскую диссертацию по техническим наукам. Она была посвящена строительным технологиям, а в ней большое значение имел анализ затрат рабочего времени, вот меня и заинтересовали экономические проблемы. А потом окончил второй институт (тогда было редко, если имеешь два образования) - заочный инженерно-экономический факультет, получил диплом инженера-экономиста. Когда я в Харькове начал искать место защиты докторской диссертации по экономике, меня нигде не принимали. А я диссертацию писал без всяких консультантов. Наконец, пришёл к зам. председателя ВАК, положил рукописный кирпич ему на стол и говорю: "Я хожу по этим советам,

а время идет, и результаты работы устаревают, сколько это будет продолжаться?". Он меня направил в Ленинград, где я, наконец, и защитился в финансово-экономическом институте в 1982 году.

- Как Вы стали работать в нашем университете?

- Я, наверное, единственный работающий пенсионер 80-ти лет. В университете я работаю по приглашению ректора В.М. Власенкова с 1988 года. Но одного приглашения было недостаточно, пришлось ждать распоряжения Министерства просвещения СССР, так как из Харькова не отпускали, хотя и работать не давали. В Комсомольске я стал заведующим кафедрой и был на этой должности в течение трех лет, а потом уехал. Тогда как раз началась перестройка, и я решил, что на Украине буду больше нужен. Ещё уехал потому, что не сложились отношения с руководством. За всю свою трудовую жизнь не имел ни одного замечания. И вдруг приказом ректора мне его объявили. За что, спрашивается? За то, что я не присутствовал на деканатской планёрке! А мне нужно было решить одну рабочую проблему, причём декана я предупредил. И, несмотря на это, выговор всё равно объявили. Когда я обратился в профсоюз, мне сказали, что я прав, но ничего не предприняли. Я продолжал настаивать на том, что взыскание было несправедливым, и, наконец, сказали, что уже прошло со дня выпуска приказа 6 месяцев и замечание больше не имеет силы. Меня неприятно удивило такое отношение, и я решил уехать. А потом на Украине перестройка пошла не очень удачно - зарплату не платили. И меня пригласили обратно в Комсомольск в качестве профессора: на заведование кафедрой я не стал претендовать, потому что возраст уже не тот был. Во второй раз я приехал в 1996 году, в апреле месяце.

- Какова сфера Ваших научных интересов, Вы продолжаете совмещать экономику и строительство?

- Я специализируюсь на экономической диагностике, начиная от анализа затрат рабочего времени. У меня даже с подготовкой аспирантов не все получалось в советское время (был только один аспирант), так как я хотел, чтобы аспиранты занимались моей темой, а эта тема оказалась тогда непопулярной. Какая такая диагностика? Есть план и есть его выполнение, а каково оно – никого не интересовало. Сейчас то, чем я занимался очень популярно. И у нас, и, особенно, за рубежом. Сейчас и аспиранты у меня по диагностике защитились: Гутник, Андреев, Омаров. Я этой темой продолжаю заниматься. У меня три монографии, последняя вышла в прошлом году, она тоже посвящена диагностике, исследованию, которые мы проводили с Омаровым и моей дочерью.

- Результаты ваших исследований как-то внедрены сейчас?

- Раньше они были внедрены. Для защиты докторской диссертации было необходимо внедрение, и я открыл научно-практическую тему в институте строительства, в НИПИАС. Сейчас такого крупного применения моя работа не находит, но отдельные хозяйственные темы я выполняю.

- Вы уже давно работаете профессором, изменилось ли отношение к профессорской работе на протяжении 20 лет? Может быть, оно ухудшилось или наоборот улучшилось? Говорят, что нынешние профессора и знать стали меньше, и меньше требуют знаний от других.

- Я вам скажу, что я работал в харьковской Академии городского хозяйства, и там были строгие требования. В строительстве трудно работать человеку, который не является специалистом. Сегодня же, на мой взгляд, инженеру для эффективной работы одной строительной специальности недостаточно, необходимы еще и очень серьезные экономические знания. Наш деканат старается привить какие-то основы предпринимательской деятельности инженерам, чтобы они сами могли проявить себя. У нас раньше читались только курсы экономики и строительства, а сейчас читаются курсы экономики, инвестиционного менеджмента, маркетинга, основ предпринимательской деятельности. К сожалению, инженер-строитель зачастую больше нацелен на технику, технологию. Есть студенты, которые ведут себя, как Недоросль у Фонвизина: «Зачем мне экономика, мне, инженеру-строителю, когда есть экономисты?». Однако строительство сегодня не может обойтись без экономических знаний, и очень здорово, что наш деканат старается, чтобы студенты имели хотя бы их необходимый минимум.

- В последнее время наше образование часто реформировалось. Сейчас оно вступило в Болонский процесс. Как Вы полагаете, улучшают реформы образование или нет?



- Когда я отвечаю на подобные вопросы, наверное, сказывается мой возраст. По этому показателю я бы должен консервативно относиться ко всяким преобразованиям, но у меня гибкое отношение к происходящему. В своё время я очень много пережил реформаторских веяний. У нас было проблемное образование, мы внедряли в обучение игровые ситуации, когда студенты делились на заказчиков и подрядчиков и проводили ролевые игры между ними. Это способствовало лучшему преобразованию знаний в умения. Но несмотря на все эти веяния, их пользу или вред, я продолжаю считать, что преподаватель остается центральной фигурой в обучении, потому что текст или то, чем напичкан компьютер, никогда не будет восприниматься так, как непосредственный контакт студента и преподавателя. Преподавание – это общение, это обучение не только знаниям, но и личному опыту овладения этими знаниями, который есть у преподавателя. Я не говорю о панибратстве или фамильярности, я говорю об общении. Раньше оно было очень официальным, но оставалось при этом общением двух партнеров, сегодня отношения между студентами и преподавателями складываются более человеческие.

- А качество образования при этом не страдает?

- Страдает... Но надо понимать, что сейчас происходит такой рост информации и источников доступа к ней, что студент черпает знания не только от преподавателя, но и из этих источников, он сегодня более обеспечен знаниями, чем раньше, иногда даже больше, чем профессор. Поэтому равенство между преподавателями и студентами растет, и обучение еще больше становится общением, партнерскими отношениями, в процессе осуществления которых обучаются и преподаватели, и студенты.

Но, Вы правы, у этого процесса есть и другая сторона – преподаватель становится все более безразличным к работе студента. Однажды, когда я был студентом, пришлось мне делать один проект, он назывался «Городские дороги». Надо было всю территорию дорог города так откорректировать, чтобы вода стекала и на асфальте не оставалась. Было необходимо так рассчитать, чтобы у полотна дороги имелся постоянный уклон. На исполнение этого проекта я потратил несколько дней и бессонных ночей. Но зато и мой преподаватель рассматривал всё, что я сделал, вникал во все детали, и я чувствовал, что делал свою работу не напрасно, что это серьезная работа, которая получит серьезную оценку. Сейчас же не только не вникают во все тонкости, но так называемые «человеческие отношения» сказываются даже на приеме зачетов и экзаменов. Преподаватель, к сожалению, очень часто прощает студенту даже очевидное отсутствие знаний, а студент стремится выпросить у него нужную оценку.

- Расскажите про студентов. Как вы к ним относитесь? Что Вам в них нравится?

- Инициативность. Среди моих строителей подбирается, к счастью, хороший контингент, в основном, это инициативные люди. Я веду не только у строителей, но и у финансистов, и строители более инициативны в учёбе.

- Что вам не нравится в студентах?

- Сейчас студент как-то излишне прагматически настроен. У него нет внимания к окружающему миру. Инициативность – это хорошо. Устремленность – тоже хорошо. Но всё же, нужно уделять внимание не только тому, что у тебя перед носом, ведь вокруг бесконечный мир. И еще поражает жестокость, куда-то исчезло очень важное человеческое качество - милосердие. Я – инвалид, и мне очень тяжело передвигаться. Когда во время перерывов идешь по коридорам университета, а навстречу несется поток студентов, кажется, что люди стали воспринимать друг друга всего лишь как неприятную помеху на пути своего движения. Однажды пришлось долго стоять у входа в институт. Хорошо, что в потоке выходящих студентов тогда оказался и ректор. Он меня увидел и сказал: «О! Да вы здесь ещё час простойте!». Остановил этот поток, и меня пропустили. Чтобы пройти к крыльцу четвертого корпуса, нужно обойти группу студентов, которые стоят на этом крыльце. Но всякое негативное поведение обращается и на того, кто его осуществляет. Даже законы маркетинга говорят о том, что твой благополучие зависит от благополучия окружающего мира. Если человек не перестанет думать, что весь мир существует только для него, он поймет свою ошибку тогда, когда почувствует, что и до него самого никому нет дела.

СТАТЬИ

Математика и механика

Гнедин П. А. Дубровский И. Н. Математическое описание асинхронной машины в комплексных величинах № 1

Олейников А.И. Тензорно-линейные модели установившейся ползучести трансверсально-изотропных материалов с разными характеристиками при растяжении и сжатии № 2

Тарануха Н.А., Петрова А.Н., Любушкина Н.Н. Колебания динамических систем с большими деформациями из нестандартизированного материала № 3

Тарануха Н.А., Петрова А.Н., Любушкина Н.Н. Определение жесткостной характеристики нестандартизированного материала упругой связи динамической системы № 4

Авиационная и ракетно-космическая техника

Амплитов П.А., Фролов В.В. О маневре по курсу легкого экраноплана типа А № 1

Кощаева Е.И., Фролов В.В. Определение аэродинамических характеристик экраноплана типа В № 3

Приходько Н.Б., Фролов В.В. К вопросу определения весовых и аэродинамических характеристик самолетов семейства модификаций с учетом принципа глубокой унификации. № 2

Феоктистов С. И., Белых С.В., Станкевич А.В., Кривенко А.А.,

Перевалов А. А. Аппроксимация геометрии контура дугами при контроле точности изготовления деталей летательных аппаратов № 1

Энергетика

Климаш В.С. Построение преобразователей фазы и регуляторов качества электроэнергии на основе преобразователей частоты № 2

Романюк В.П. Об улучшении энергетических показателей бытовых кондиционеров № 1

Сериков А.В., Герасименко Т.В. Тепловые процессы в бытовом электрорадиаторе трансформаторного типа № 2

Степанов А.Н. Расчет внешнего вращающегося магнитного поля бытовых приборов № 1

Чижумов С.Д. Преобразование энергии морских волн № 3

Управление, вычислительная техника и информатика

Бердонос В.Д. Закон полноты частей системы: методические особенности № 2

Бердонос В. Д., Редколис Е. В. О классификации систем автоматизированного проектирования и создания программ (case) № 4

Вильдяйкин Г.Ф. Физическая модель информации № 3

Горькавый М.А., Соловьев В.А. Автоматизация синтеза нечетких подсистем экспертной системы промышленного предприятия № 1

Жарков Р.В., Марьин Б.Н., Фролов Д.Н., Быченко В.Н., Волков К.В., Хохлов С.А. Концептуальная модель информационной системы оперативного управления крупным производством на цеховом уровне № 2

Золотова Т.В. Линейные минимаксные задачи управления риском в сложных производственных системах № 2

Золотова Т.В. Методы управления риском в задачах стратегического и фондового инвестирования № 3



Комаровский Ю. А. Повышение точности определения координат доплеровскими спутниковыми навигационными системами № 1

Комаровский Ю. А. Погрешности вычислений проходимых расстояний по данным от gps-приёмников № 3

Комаровский Ю.А. Сезонные изменения точности определения координат доплеровскими спутниковыми навигационными системами. № 2

Комаровский Ю.А. Сравнительная оценка случайных погрешностей gps-компасов. № 4

Котляров В.П., Воробьев А.А. О решениях повышения криптостойкости шифров с помощью континуального множества № 2

Мешков А.С., Суздорф В.И. Формирование характеристик систем массового электропривода № 3

Стельмащук С.В. Оценка качества системы автоматического регулирования на основе упрощённой модели № 1

Тихомиров В.А., Кутузов Д.Ф. Автоматизация определения минимальных габаритов 3D моделей в cad системе Unigraphics № 2

Трещев И.А., Коньшин А.В. Использование криптопреобразований на основе генетических алгоритмов для систем с smt-архитектурой в задачах защиты информации № 4

Машиностроение

Бурков А.А., Биленко С.В. Диагностика рабочих процессов высокоскоростной механической обработки с использованием динамических информационных № 1

Еренков О.Ю., Ивахненко А.Г. Математическая модель нелинейных колебаний и определение условий неустойчивости технологической системы при точении № 1

Ким В.А., Отряскина Т.А. Пластическая деформация и микроструктура поверхностного слоя при резании металлов № 2

Ким В.А., Щелкунов Е.Б., Бреев С.В. Шероховатость обработанной поверхности при цилиндрическом фрезеровании № 1

Космынин А.В., Щетинин В.С. Определение полезной нагрузки газоманитного подшипника высокоскоростного шпиндельного узла № 1

Космынин А.В., Щетинин В.С. Совершенствование высокоскоростных шпиндельных узлов на бесконтактных опорах за счёт применения газоманитных подшипников № 2

Мокрицкий Б.Я. К вопросу о выборе эффективного метода упрочнения лезвийного металло-режущего инструмента № 2

Пронин А.И., Мокрицкий Б.Я., Виноградов С.В. Особенности применения сверхтвёрдых материалов и режущей керамики при токарной обработке труднообрабатываемых материалов № 2

Саблин П. А., Серебренникова А. Г. Пути повышения износостойкости быстроизнашиваемых деталей дробебетонных аппаратов № 1

Сарилов М. Ю. Применение синергетического подхода к исследованию электроэрозионного процесса № 3

Сарилов М.Ю. К вопросу адаптивного управления процессом электроэрозионной обработки № 4

Сарилов М.Ю., Биленко С.В., Алтухова В.В., Линев А.С. Применение искусственных нейронных сетей в системах управления электроэрозионной обработки № 2

Сарилов М.Ю., Чугай Е.А., Жихарева Д.А. Исследования устойчивости процесса электроэрозионной обработки. № 1

Смирнов А.В., Суходоев И.Г. Влияние раздвижки линий наддува частично пористых газостатических опор на их эксплуатационные характеристики № 2



Смирнов А.В., Суходоев И.Г. Исследование эксплуатационных характеристик газостатических подшипников высокоскоростных шпиндельных узлов. № 1

Туркенич А.В. Автоматизированная система вибродиагностики подшипников качения № 1

Шишкин С.Б., Шишкин Б. В. Проверка углоизмерительного оборудования при сборочных операциях № 3

Шпилев А.М., Биленко С.В. Формирование эффективных траекторий движения режущего инструмента при высокоскоростной механической обработке. № 1

Щелкунов Е.Б., Сопко М.Ю., Щелкунова М.Е., Порошин О.Н. Быстросервисная фреза для определения оптимальных режимов лезвийной обработки новых конструкционных материалов № 3

Металлургия и материаловедение

Бабкин В.Г., Черепанов А.И., Малявко А.Н. Исследование и разработка литого сплава для малорасходуемых анодов алюминиевых электролизеров № 2

Башков О.В., Панин С.В., Башкова Т.И. Исследование и идентификация механизмов деформации и разрушения стали 12х18н10т методом акустической эмиссии № 2

Григорьев С.Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровов для применения в инструментальном покрытии № 1

Гусева Р.И. Использование лакокрасочных систем при покраске деталей из полимерных композитных материалов № 3

Гущин В.Н., Ульянов В.А. Математическое и физическое моделирование формирования непрерывнолитых заготовок. № 3

Дмитриев Э.А., Тарасова А.А. Опыт разработки и внедрения стержневых смесей с связующими на основе сульфата магния № 3

Еренков О.Ю., Никищечкин В.Л. Исследование эффективности влияния предварительной электрофизической обработки связующего на прочностные характеристики пкм № 2

Заводинский В.Г. Квантово-механическое исследование наночастиц карбида вольфрама № 1

Ким В.А., Каримов Ш.А. Роль износостойких покрытий в контактных процессах трения и изнашивания № 4

Ковалевич Е.В. Экологически безопасная технология получения чугуна с шаровидным графитом № 1

Козин В.М., Марьин Б.Н., Марьин С.Б., Волков К.В., Попова Н.А., Грачева О.А., Одинокое В.И., Евстигнеев А.И., Шпорт В.И. Экспериментальные исследования возможностей использования воды при ее замораживании для деформирования заготовок № 1

Козлита А.Н., Устинов В.А. Утилизация углеводородных материалов методом коксования № 1

Марьин С.Б., Олейников А.И. Куриный В.В., Куриная Н.П. Применение эластосыпучих сред в листовой штамповке № 2

Муравьев В. И., Бахматов П. В., Дебеляк А. А. Определение возможности расчета остаточных деформаций по тепловым полям при сварке тонких пластин встык № 4

Муравьев В.И., Бахматов П.В., Мелкоступов К.А. К вопросу актуальности исследования сварки трением с перемешиванием (СТП) конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов № 2

Муравьев В.И., Ким В.А., Дмитриев Э.А., Фролов А.В., Соколов Д.А. О возможности использования метода акустической эмиссии для оценки структурных изменений в процессе термической обработки конструкционных материалов № 1



Муравьев В.И., Клешина О.Н., Кузнецов А.А., Матвеев Д.В. Исследование, возможности увеличения прочности и долговечности титановых конструкций управлением термическим циклом сварки № 1

Муравьев В.И., Физулаков Р.А., Логвинов О.П. Структурные изменения в поверхностном слое титановых сплавов при газолазерном раскросе № 2

Мысик Р. К., Сулицин А. В., Брусницын С. В. Изучение особенностей литья и деформации высокохромовой бронзы № 2

Ри Хосен, Евстигнеев А.И., Ри Э.Х., Дорофеев С.В., Якимов В.И. Исследование влияния амплитуды импульсов напряжения генератора НЭМИ на процессы кристаллизации, структурообразования и свойства силумина (АК7ч) № 3

Сулицин А. В., Мысик Р. К., Брусницын С. В., Смирнов С. Л.,

Ильиных М. В. К вопросу о механизме модифицирования меди № 3

Сулицин А. В., Мысик Р. К., Голоднов А. И., Брусницын С. В. Влияние вибрационной обработки на макро- и микроликвацию кадмия в слитках кадмиевой бронзы № 4

Хохлов С.А., Лиманкин В.В., Ким В.А., Марьин Б.Н., Марьин С.Б. Освоение технологии многоручьевой прокатки № 4

Цуй Сюй, Гусева Р.И., Гао Юй, Чжан Линюни Влияние матричных материалов для изделий из композиционных углеродных материалов Т800, полученных методом мокрой намотки № 1

Цуй Сюй; Гусева Р.И.; Чжан Линюни; Гао Юй Оценка свойств аппретов для улучшения связи между полимерной матрицей и высокопрочным углеродным волокном Т800 № 2

Флот и кораблестроение

Тарануха Н.А., Журбин О.В., Журбина И.Н. Математическое и экспериментальное моделирование колебаний стержневых судовых конструкций с учётом сопротивления внешней среды различной плотности № 4

Чижиумов С.Д. Математическая модель динамики судна на волнении № 1

Науки о земле и безопасность жизнедеятельности

Головков В.В., Мороз Е.В. Течение и прогноз геморрагического инсульта и ишемического инфаркта под воздействием факторов окружающей среды № 4

Гореликова Е.И. Разработка модели промышленного предприятия для ретроспективного анализа загрязнения окружающей среды на примере Комсомольского-на-Амуре аккумуляторного завода (ОАО КнаАЗ) № 4

Степанов А.Н. Расчет тока смещения через тело человека № 4

Степанов И.П. Применение методов системного анализа к оценке опасности лесных пожаров № 4

Степанова И.П., Смирнов А.О. алгоритм прогнозирования индивидуального и группового риска травматизма с целью адресного превентивного управления № 3

Фукучи К., Кобучи С., Фуруя Т., Араи Ю. Прогнозирование равновесия адсорбирования многокомпонентных разжиженных водных растворов активированным углем при помощи модели неидеального адсорбирования растворов и расширенной формулы радке-праузница. № 1

Строительство и архитектура

Федосенко В.Б., Григорьев Я.Ю., Григорьева А.Л. Задача оптимизации технологического процесса строительства в климатических условиях Хабаровского края № 3

Федосенко В.Б., Григорьев Я.Ю., Григорьева А.Л. Системный анализ климатических факторов по характеру и уровню агрессивности к технологическим процессам в строительстве. № 4